



TUGAS AKHIR – MO141326

**Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Pada
Sambungan Tubular Multiplanar *K Double T* Akibat Beban
In-Plane-Bending Moment dengan Metode Elemen Hingga**

RIZKY YAZHAHIR

NRP. 04311440000096

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



FINAL PROJECT – MO141326

Formulation Stress Concentration Factor Equation for Multiplane Tubular Joint K Double T Due to In-Plane- Bending Moment Using Finite Element Method

RIZKY YAZHAHIR

NRP. 04311440000096

Supervisors :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

**PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN
TUBULAR MULTIPLANAR *K DOUBLE T* AKIBAT BEBAN *IN-PLANE-BENDING*
MOMENT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada program
studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

RIZKY YAZHAHIR

NRP. 04311440000096

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joesoef Joswan Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 3)

6. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2018

**PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA
SAMBUNGAN TUBULAR MULTIPLANAR *K DOUBLE T* AKIBAT
BEBAN *IN-PLANE-BENDING MOMENT* DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

Nama Mahasiswa : Rizky Yazhahir
NRP : 04311440000096
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Dalam konstruksinya, *Jacket Fixed Platform* sebagian besar menggunakan sambungan *tubular*. Sambungan *tubular* pada *jacket* yang terkena beban dari berat struktur itu sendiri maupun beban yang ditimbulkan oleh aksi lingkungan dan adanya diskontinuitas geometri menyebabkan terjadinya tegangan *hot-spot* pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Tegangan *Hot-spot* dapat memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur, dan besarnya dipengaruhi oleh parameter yang disebut *stress concentration factor* (SCF). Tugas Akhir ini melakukan analisis tentang efek dari variasi parameter *non-dimensional* (β , τ , γ , dan θ) terhadap distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* serta nilai SCF yang dihasilkan. Selain itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persamaan faktor konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multiplanar K Double T* akibat *In-Plane-Bending Moment* (IPB) sehingga bisa digunakan untuk menghitung *hotspot stress* pada tipe sambungan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga untuk menghitung factor konsentrasi tegangan yang terjadi dengan beberapa variasi parametrik geometri struktur. Kemudian dilakukan regresi untuk membentuk formula SCF yang baru. Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar parameter β maka tegangan di sekitar sambungan akan semakin kecil, sebaliknya semakin besar parameter τ , γ , dan θ maka tegangan disekitar sambungan akan semakin besar. SCF yang didapatkan dari analisis beberapa model dengan variasi parameter *non-dimensional* akan diregresi untuk mendapatkan persamaan baru dan akan dibandingkan dengan nilai SCF dari hasil analisis metode elemen hingga.

Kata Kunci : *hot-spot stress*, *In-Plane-Bending Moment*, metode elemen hingga, *multiplanar tubular joint*, perumusan SCF, *stress concentration factor*.

FORMULATION STRESS CONCENTRATION FACTOR EQUATION FOR MULTIPLANE TUBULAR JOINT K DOUBLE T DUE TO IN- PLANE-BENDING MOMENT USING FINITE ELEMENT METHOD

Name of Student : Rizky Yazhahir
NRP : 04311440000096
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

In its construction, Fixed Jacket Platform mostly uses tubular connection. The tubular connection which subjected the load from the load itself or the load generated by environmental action and existence of geometry discontinuity will create hot-spot stress on the connection between the brace and the chord. Hot-spot stress can accelerate the emergence of structure, and its magnitude is affected by parameter called stress concentration factor (SCF). This Final Project performs an analysis of the effects of non-dimensional parameters (β , τ , γ , and θ) on the stress distribution between the connections and resulting SCF values. In addition, this study aims to determine SCF equation for K Double T multiplanar tubular joint as a result of In-Plane-Bending-Moment (IPB) load condition. In this research, finite element method software is used to calculate SCF that occurs with various parameters of structural geometry. Then the regression method is used to make the new formula of SCF. The result of this analysis shows that if β parameter get bigger then stress will be smaller. If τ , γ , and θ parameter get bigger then stress will be bigger. SCF obtained from the analysis of some models with non-dimensional parameters variations will be used for regression to obtain new formulae and will be compared with SCF values resulted from finite element method.

Keywords : finite element method, hot-spot stress, In-Plane-Bending Moment, multiplanar tubular joint, SCF formulation, stress concentration factor.

KATA PENGANTAR

Assalamualikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul **“Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Sambungan Tubular Multiplanar *K Double T* Akibat Beban *In-Plane-Bending Moment* dengan Metode Elemen Hingga”** dengan baik dan lancar. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan oleh penulis untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk evaluasi dan penyempurnaan laporan ini.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat menjadi panduan dalam pembuatan laporan lain bagi pembaca dan dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan. Atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamualikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, banyak pihak yang turut membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung. Tugas Akhir ini tidak akan dapat dikerjakan dengan baik dan lancar tanpa bantuan-bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan bantuan material dengan tulus ikhlas kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah bersedia memberikan ilmu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 dan dosen wali yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan memberikan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan yang telah membantu penulis memahami banyak ilmu dan kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Alumni Departemen Teknik Kelautan (mas Bonar, mas Ibnu) yang telah memberikan data dan membantu penulis memahami materi Tugas Akhir.
7. Teman-Teman bimbingan Tugas Akhir Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan menjadi teman diskusi dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman angkatan 2014 (MAELSTROM) yang mulia. Terimakasih telah memberikan kenangan, pengalaman, dan pelajaran kepada penulis selama masa perkuliahan.
9. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat penulis di Departemen Teknik Kelautan yang telah memberi berbagai ilmu dan pengetahuan kepada penulis, dan juga memberi semangat dan motivasi penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

10. Teman-teman Anti-Wibu yang telah memberikan keceriaan dan juga menemani penulis selama merantau di Surabaya.
11. Pihak-pihak yang penulis tidak bisa sebutkan satu persatu.

Semoga segala bentuk dukungan dalam bentuk doa, motivasi maupun bantuan lainnya yang diberikan berbagai pihak kepada penulis dapat menjadi amalan barokah dan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Jacket Fixed Platform	6
2.2.2. Sambungan Tubular.....	8
2.2.3. Sambungan Tubular Multiplanar.....	9
2.2.4. Desain Sambungan Las	10
2.2.5. Pembebanan Dasar	10
2.2.6. Hot-Spot Stress	10
2.2.7. Mencari <i>Hot-Spot Stress</i> Menggunakan Ekstrapolasi Linier	12
2.2.8. Faktor Konsentrasi Tegangan.....	13
2.2.9. Analisis Tegangan menggunakan Metode Elemen Hingga.....	14
2.2.10. Metode Regresi untuk Perumusan Persamaan SCF.....	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1. Skema Diagram Alir.....	17
3.2. Prosedur Penelitian.....	18
3.2.1. Studi Literatur.....	18
3.2.2. Pengumpulan Data.....	18
3.2.3. Pemodelan Sambungan <i>Tubular Uniplanar KT</i>	20
3.2.4. <i>Meshing Sensitivity</i>	20
3.2.5. Validasi Model	20
3.2.6. Pemodelan Sambungan <i>Multiplanar K Double T</i>	21
3.2.7. Variasi parameter β , τ , γ , dan θ pada Model Sambungan Multiplanar.....	21
3.2.8. Menghitung Faktor Konsentrasi Tegangan	22
3.2.9. Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan Metode Regresi	22
3.2.10. Membandingkan <i>SCF</i> Hasil Persamaan Baru dengan Hasil Analisa Elemen Hingga.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan <i>Tubular Uniplanar KT</i>	25
4.2 <i>Meshing Sensitivity</i> Sambungan <i>Tubular Uniplanar KT</i>	27
4.3 Validasi Tegangan Nominal pada <i>Brace</i>	29
4.4 Tegangan <i>Hot-Spot</i> pada Sambungan <i>Tubular Uniplanar KT</i>	30
4.5 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan <i>Tubular Uniplanar KT</i>	32
4.6 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan <i>Tubular Multiplanar KDT</i>	33
4.7 <i>Meshing Sensitivity</i> Sambungan <i>Tubular Multiplanar KDT</i>	35
4.8 Distribusi Tegangan di Sekitar Sambungan <i>Brace</i> dan <i>Chord</i> dengan Variasi Parameter Non-Dimensional.....	37
4.9 Tegangan <i>Hot-Spot</i> pada Sambungan <i>Tubular Multiplanar KDT</i>	42
4.10 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan <i>Tubular</i> <i>Multiplanar KDT</i>	44
4.11 Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan <i>Tubular</i> <i>Multiplanar KDT</i>	45
4.12 Perbandingan SCF Hasil dari Persamaan SCF Baru dengan SCF Hasil dari Analisis Metode Elemen Hingga.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51

5.2	Saran.....	51
	DAFTAR PUSTAKA	53
	LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur <i>Jacket</i> di Fabrikasi (a), Notasi Geometrik <i>DKT-joint</i> (b)	1
Gambar 2.1 Jacket Fixed Platform (Planning and Design of Fixed Offshore Platform, 1986)	7
Gambar 2.2 Parameter Geometrik Sambungan Tubular	8
Gambar 2.3 Sambungan Las <i>Toe Fillet Weld</i>	10
Gambar 2.4 Letak titik kritis pada sambungan tubular	11
Gambar 2.5 Titik Ekstrapolasi linier pada <i>tubular joint</i> untuk mencari <i>hot-spot stress</i> (DNVGL-RP-C203, 2016).....	12
Gambar 2.6 Tipe Elemen Solid Tiga Dimensi	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian (lanjutan).....	18
Gambar 3.2 <i>Braced Tripod</i> (a); <i>Multi-planar Tubular Joint</i> (b).....	19
Gambar 3.3 Ketentuan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1	20
Gambar 4.1 Model Sambungan Tubular.....	25
Gambar 4.2 <i>Meshing</i> pada Model.....	26
Gambar 4.3 Kondisi Batas dan Pembebanan pada Model	27
Gambar 4.4 Letak Titik Tinjau pada <i>Meshing Sensitivity</i>	27
Gambar 4.5 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT	28
Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Tegangan dengan bantuan <i>Software</i> Elemen Hingga	29
Gambar 4.7 Ekstrapolasi linier pada <i>chord</i>	31
Gambar 4.8 Ekstrapolasi linier pada <i>brace</i>	32
Gambar 4.10 <i>Meshing</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT	34
Gambar 4.11 Kondisi Batas dan Pembebanan pada Model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT.....	35
Gambar 4.12 Letak Titik Tinjau pada <i>Meshing Sensitivity</i>	35
Gambar 4.13 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model 1 sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT.....	36
Gambar 4.14 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model 2 sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT.....	36

Gambar 4.15 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model 3 sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT.....	37
Gambar 4.16 Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan <i>brace</i> VB1..	38
Gambar 4.17 Garis sambungan <i>brace</i>	38
Gambar 4.18 Pengaruh dari parameter β terhadap distribusi tegangan	39
Gambar 4.19 Pengaruh dari parameter τ terhadap distribusi tegangan.....	40
Gambar 4.20 Pengaruh dari parameter γ terhadap distribusi tegangan.....	41
Gambar 4.21 Pengaruh dari parameter θ terhadap distribusi tegangan	42
Gambar 4.22 Ekstrapolasi linier pada <i>brace</i> Sambungan <i>Tubular Multiplanar KDT</i>	43
Gambar 4.23 Ekstrapolasi linier pada <i>chord</i> Sambungan <i>Tubular Multiplanar KDT</i>	43
Gambar 4.24 Plot langkah a	46
Gambar 4.25 Plot langkah b.....	46
Gambar 4.26 Plot langkah c	47
Gambar 4.27 Plot langkah d.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Sambungan Multiplanar.....	9
Tabel 3.1 Data Geometri Sambungan Tubular Multi Bidang.....	19
Tabel 3.2 <i>Material Properties</i> Sambungan Tubular Multi Bidang.....	19
Tabel 3.3 Variasi parameter sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT	21
Tabel 4.1 <i>Meshing Sensitivity</i> Akibat <i>In-Plane Bending Moment</i>	28
Tabel 4.2 Tegangan nominal pada <i>software</i> elemen hingga	30
Tabel 4.3 Perbandingan Tegangan Nominal Persamaan dengan Tegangan Nominal <i>Software</i>	30
Tabel 4.4 Perbandingan SCF hasil pendekatan elemen hingga dengan SCF hasil Persamaan Efthymiou	32
Tabel 4.5 Faktor konsentrasi tegangan pada <i>brace</i>	44
Tabel 4.6 Faktor konsentrasi tegangan pada <i>chord</i>	45
Tabel 4.7 Perbandingan <i>SCF</i> persamaan baru dengan <i>SCF FEM</i> pada sisi <i>brace</i>	48
Tabel 4.8 Perbandingan <i>SCF formula</i> dengan <i>SCF FEM</i> pada sisi <i>chord</i>	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data dan Model Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

Lampiran B *Meshing Sensitivity*

Lampiran C Tegangan Nominl

Lampiran D Tegangan *Hot-Spot*

Lampiran E Perumusan *SCF*

DAFTAR ISTILAH

Wellhead Platform : Struktur pengeboran migas lepas pantai yang berfungsi menyedot minyak pada sumur di *reservoir*.

Jacket Platform : Bagian kaki struktur bangunan lepas pantai tipe *fixed* yang menjaga struktur berdiri di tempat operasinya.

Brace : *Tubular* baja yang disambung untuk menguatkan kaki utama agar tetap mampu berdiri sesuai fungsinya.

Chord : Sambungan *tubular* baja yang merupakan kaki utama struktur pengeboran migas lepas pantai.

Finite Element : Metode analisis dengan membagi suatu benda yang akan dianalisis, menjadi beberapa bagian (elemen) dengan jumlah hingga (*finite*).

Von-mises Stress : Tegangan gabungan (*equivalen*) terhadap semua arah bidang elemen dengan pendekatan matriks.

Meshing Sensitivity : Analisis yang dilakukan untuk mencari kestabilan tegangan pada suatu model akibat variasi ukuran elemen.

Fillet Joint : Sambungan antara dua baja yang tegak lurus atau membentuk sudut.

Toe Fillet : Daerah ujung las-lasan yang berada pada sisi miring.

Fixed Support : Tumpuan berupa balok yang terjepit pada tiang atau kolom. Tumpuan ini dapat memberikan reaksi terhadap gaya *vertical*, *horizontal*, dan putaran momen.

DAFTAR NOTASI

- β = perbandingan antara *diameter brace* dengan *diameter chord*
- τ = perbandingan antara ketebalan *brace* dengan *ketebalan chord*
- γ = perbandingan antara *diameter chord* dengan dua kali ketebalan *chord*
- θ = sudut antara *brace* dan *chord* (derajat)
- ζ = perbandingan *gap* dengan *diameter chord*
- π = phi (3.14)
- A = luasan penampang (in²)
- d = *diameter brace* (in)
- D = *diameter chord* (in)
- F = gaya (N)
- M_i = *in-plane-bending moment* (Nm)
- t = ketebalan *brace* (in)
- T = ketebalan *chord* (in)
- g = *gap* (in)
- R = jari-jari *chord*
- HSS ($\sigma_{hot-spot}$) = *hot-spot stress* (psi)
- NS ($\sigma_{nominal}$) = *nominal stress* (psi)
- SCF = *stress concentration factor*
- R^2 = koefisien determinasi

BAB I

PENDAHULUAN

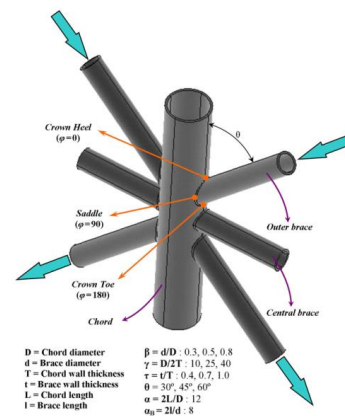
1.1.Latar Belakang

Jacket Structure adalah sebuah struktur yang fungsi utamanya adalah menopang bagian atas *fixed jacket platform* yang meliputi *deck*, fasilitas operasional dan produksi dalam proses eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon di laut dangkal serta menahan beban-beban keseluruhan *fixed jacket platform* yang meliputi beban-beban lateral dan beban-beban aksial serta melindungi komponen-komponen penting seperti *pile*, *riser*, dan *conductor*.

Jacket Structure merupakan *steel platform* yang sebagian besar berupa konstruksi tubular (McClelland B., 1986). Hubungan antara member tubular tersebut dinamakan *Tubular Joint*. *Tubular Joint* terdiri dari *chord* (member yang berdiameter lebih besar) dan *brace* yang disambungkan dengan proses pengelasan. Kedua member tersebut dan sambungan tubular dirancang harus bisa menahan *ultimate design load* dan tegangan siklik jangka panjang akibat aksi lingkungan. Gambar 1.1 menunjukkan sambungan DKT tubular dengan tiga titik kritisnya di sepanjang sambungan *brace-chord* : *saddle*, *crown toe* dan *crown heel*, dan parameter geometris untuk diameter *chord* (D) dan *brace* (d), dan ketebalan dinding *chord* (T) dan *brace* (t).



(a)



(b)

Gambar 1.1 Struktur *Jacket* di Fabrikasi (a), Notasi Geometrik *DKT-joint* (b)

Sambungan *tubular* pada *jacket platform* yang terkena beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan dan adanya diskontinuitas antara *brace* dan *chord* menyebabkan pemusatan tegangan pada garis sambungan antara *brace*

dan *chord (intersection line)*. Pada titik-titik tertentu sepanjang daerah sambungan tersebut akan terjadi suatu tegangan yang besarnya beberapa kali lebih besar daripada tegangan nominal. Tegangan yang terjadi tersebut biasa disebut *Hot Spot Stress*. Untuk mengetahui *hot spot stress* pada sambungan tubular dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen atau dengan pendekatan metode elemen hingga.

Rentang tegangan *hot-spot* dapat ditentukan dari parameter yang disebut faktor konsentrasi tegangan (SCF). SCF adalah rasio tegangan permukaan lokal terhadap tegangan langsung nominal pada *brace* (Ahmadi, 2011). Besarnya SCF bergantung pada geometri sambungan, tipe pembebanan, tipe dan ukuran dari lasan (Karamos *et al*, 2001). Penentuan atau perhitungan SCF sangat diperlukan karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata, sehingga SCF mempunyai peranan yang penting dalam memprediksi lokasi kemungkinan terjadinya *fatigue crack growth* (Ahmadi *et al*, 2011).

Rumus empirik untuk menentukan atau menghitung besarnya SCF pada sambungan multi-bidang (*multi-planar*) masih sangat jarang jika dibandingkan dengan *simple joint (uni-planar)*. Saat ini, rumus empirik untuk perhitungan SCF *simple joint (uni-planar)* dengan berbagai geometri (T, Y, K dan KT) dan variasi pembebanan sudah sangat banyak. Padahal rumus parametrik SCF sambungan tubular *uniplanar* tidak dapat langsung digunakan untuk menentukan SCF sambungan tubular *multiplanar* dan fakta dilapangan menunjukkan bahwa sambungan *tubular* yang sering digunakan adalah sambungan *tubular multiplanar*.

Sambungan *tubular multi-planar K Double T* merupakan tipe sambungan yang sering digunakan pada anjungan lepas pantai. Oleh karena itu, sangat penting melakukan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multiplanar K Double T* ini untuk mengetahui persamaan factor konsentrasi tegangan pada tipe sambungan tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana distribusi tegangan di sekitar garis sambungan (*intersection*) pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT dengan variasi parameter *non-dimensional* β , τ , γ , θ akibat beban *In-Plane-Bending Moment*?

2. Berapa besarnya *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT dengan variasi parameter *non-dimensional* β , τ , γ , θ akibat beban *In-Plane-Bending Moment*?
3. Bagaimana persamaan SCF pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT akibat beban *In-Plane-Bending Moment*?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan (*intersection*) pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT dengan variasi parameter *non-dimensional* β , τ , γ , θ akibat *In-Plane-Bending Moment*.
2. Mendapatkan besarnya *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT dengan variasi parameter *non-dimensional* β , τ , γ , θ akibat *In-Plane-Bending Moment*.
3. Mendapatkan persamaan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* tipe KDT akibat *In-Plane-Bending Moment*.

1.4. Manfaat

Hasil analisis dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui nilai-nilai SCF dari beberapa variasi parameter *non-dimensional* yang dilakukan dan mendapatkan persamaan SCF pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT akibat beban *In-Plane-Bending Moment*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Adapun batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Analisis dilakukan pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KDT.
2. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lokal dengan metode elemen hingga.
3. Parameter *non-dimensional* yang divariasikan adalah β , τ , γ , dan θ .
4. Beban yang digunakan pada struktur adalah beban *In-Plane-Bending Moment*.

5. *Support* yang digunakan dalam pemodelan lokal menggunakan *Fixed Support* di kedua ujung *chord*.
6. Penentuan persamaan SCF dengan menggunakan Regresi.
7. Member yang ditinjau hanya member yang memiliki tegangan paling besar.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang Tugas Akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat dari penelitian, batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini mencakup tinjauan pustaka berupa penelitian-penelitian yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini, serta dasar-dasar teori yang akan digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir, data-data yang akan digunakan, serta pemodelan dan perhitungan yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil analisis, baik pemodelan maupun perhitungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan sesuai perumusan masalah, serta saran yang dapat digunakan untuk menyempurnakan penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Jenis bangunan lepas pantai yang digunakan untuk eksploitasi hidrokarbon di laut Indonesia yang paling sesuai adalah *jacket type fixed offshore platform*. Jenis tersebut dipilih karena kondisi laut yang umumnya dangkal dan beban dinamis (angin, gelombang, arus dan lain-lain) yang relatif tidak besar (Soegiono, 2003).

Jacket Structure merupakan *steel platform* yang sebagian besar berupa konstruksi tubular (McClelland B., 1986). Hubungan antara member tubular tersebut dinamakan *Tubular Joint*. *Tubular Joint* terdiri dari *chord* (member yang berdiameter lebih besar) dan *brace* yang disambungkan dengan proses pengelasan. Kedua member tersebut dan sambungan tubular dirancang harus bisa menahan *ultimate design load* dan tegangan siklik jangka panjang akibat aksi lingkungan.

Adanya diskontinuitas geometrik antara *brace* dan *chord*, dan juga adanya aksi lingkungan yang mengenai sambungan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord*. Pada titik tertentu di sepanjang daerah sambungan tersebut akan terjadi suatu tegangan yang besarnya beberapa kali lebih besar dari tegangan nominal. Tegangan tersebut disebut *hot-spot stress*.

Pada sambungan dapat terjadi dua *hot-spots* yang berbeda, satu pada weld toe pada sisi brace dan yang lain pada sisi chord. Untuk itu besar tegangan maksimumnya kemungkinan bisa terjadi pada salah satu dari kedua tempat tersebut (Underwater Engineering Group, 1985)

Perbandingan antara tegangan maksimum pada sambungan dengan tegangan nominal disebut *Stress Concentration Factor (SCF)*. Besar *SCF* inilah yang merupakan salah satu komponen penting dalam penghitungan *fatigue damage*. *SCF* diperlukan karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata. Besarnya factor konsentrasi tegangan bergantung pada geometri sambungan, tipe pembebanan, dan juga tipe dan ukuran dari lasan (Karamos *et al*, 2002).

Dalam mendapatkan besar *SCF* pada sekitar *tubular joint* diperlukan analisis lokal pada *tubular joint*, untuk mendapatkan distribusi tegangan, yang mana

nantinya distribusi tegangan ini dapat menentukan hot-spot stress pada tubular joint dan besar SCF. Analisis lokal ini menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Dengan metode ini, keakuratan yang didapat sangat dipengaruhi oleh model yang akan dianalisis. (Murthy et al, 2004)

Terdapat dua jenis sambungan tubular yaitu sambungan *uni-planar* (satu bidang) dan sambungan *multi-planar* (lebih dari satu bidang). Dalam pengaplikasiannya, sambungan *tubular multi-planar* adalah jenis sambungan yang sering digunakan pada *jacket platform*. Sambungan *tubular multi-planar* berperan penting dalam analisis tegangan pada *tubular joint spasial* pada *platform* lepas pantai. Tegangan maksimum pada sambungan *tubular multi-planar* mungkin bisa lebih besar atau lebih kecil daripada sambungan *uni-planar*. Oleh karena itu, rumus parametrik SCF sambungan *tubular uni-planar* tidak dapat langsung digunakan untuk menentukan SCF sambungan *tubular multi-planar*.

Penelitian mengenai perumusan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* pernah dilakukan oleh (Chiew et al, 2000) untuk *steel multiplanar tubular XXjoints*. Karamos et al (2002) menurunkan rumus SCF pada sambungan *multiplanar DT-joint* akibat beban *bending*. Penelitian juga dilakukan oleh (Wingerde et al, 2001) merumuskan formula SCF untuk sambungan *tubular uniplanar K* dan *multiplanar KK*. Karena masih sedikit penelitian mengenai perumusan SCF sambungan *tubular multiplanar*, maka dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan perumusan SCF pada sambungan *tubular multiplanar K double T* dengan menggunakan pemodelan elemen hingga. Rumus SCF baru dihasilkan dengan menggunakan regresi berdasarkan data geometris sambungan *tubular* utama (*chord*) dan *tubular* sekunder (*brace*), yaitu diameter luar dari *chord* (D), diameter luar dari *brace* (d), ketebalan *chord* (T), ketebalan *brace* (t) dan Panjang *chord* (L) dengan mengacu pada rasio perbandingan geometris yang digunakan untuk persamaan parametrik.

2.2. Dasar Teori

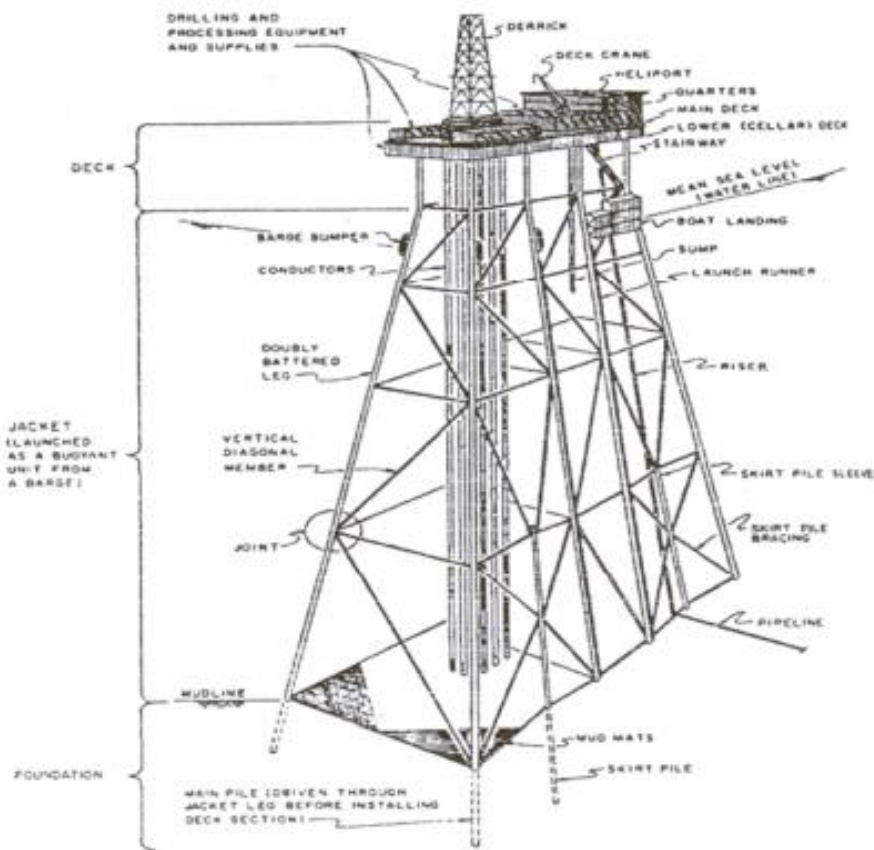
2.2.1. Jacket Fixed Platform

Struktur *Jacket* merupakan bentuk struktur terpancang (Fixed Structure) yang terdiri atas komponen utama yaitu *deck/top side*, *jacket* dan pondasi. Selain 3 bagian

utama tersebut ada subkomponen dari masing-masing komponen utama dari *jacket* yaitu:

1. Subkomponen dari struktur geladak antara lain: *skid beam*, plat geladak, dek *beam*, kaki geladak, *longitudinal trusses* dan *wind girders*.
2. Subkomponen dari *jacket* antara lain: *legs*, *horizontal* dan *vertical bracing*, *launch unner*, *launch trusses* dan *detail element* (*boat landing*, *barge bumpers* dan *walkways*).
3. Subkomponen dari pondasi antara lain: *skirt pile sleeves*, *skirt pile bracing*, *piles*.

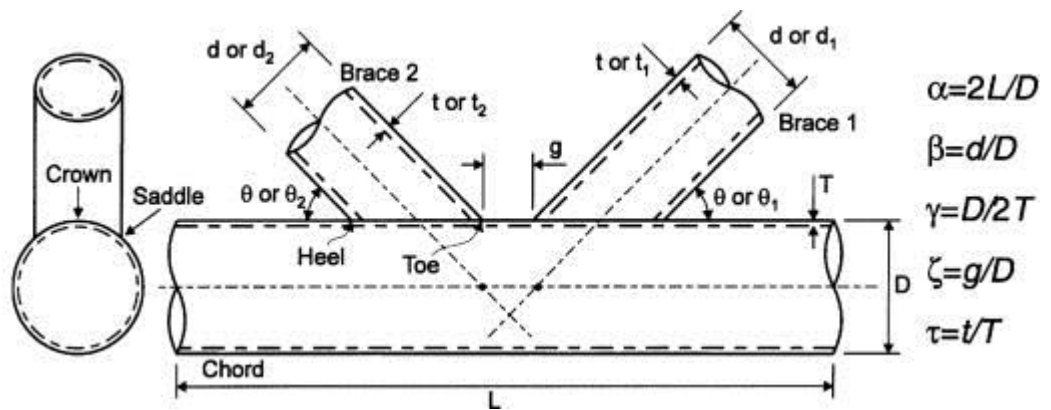
Beberapa sistem *jacket* yang ada di dunia mempunyai perbedaan utama mengenai jumlah kaki, konfigurasi sistem *bracing* serta serta fungsinya. Jumlah kaki pada setiap *jacket* bervariasi dari 1 (monopod) hingga 8 kaki dengan membentuk konfigurasi tertentu. Demikian juga dengan sistem konfigurasi *bracing*nya dari yang sederhana sampai yang kompleks (McClelland, 1986).



Gambar 2.1 Jacket Fixed Platform (Planning and Design of Fixed Offshore Platform, 1986)

2.2.2. Sambungan Tubular

Jacket Structure merupakan *steel platform* yang sebagian besar berupa konstruksi tubular (McClelland B., 1986). Hubungan antara member tubular tersebut dinamakan *Tubular Joint*. *Tubular Joint* terdiri dari *chord* (member yang berdiameter lebih besar) dan *brace* yang disambungkan dengan proses pengelasan. Sambungan *tubular* pada *jacket platform* yang terkena beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan dan adanya diskontinuitas antara *brace* dan *chord* menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*).



Gambar 2.2 Parameter Geometrik Sambungan Tubular

Dalam menentukan konsentrasi tegangan pada sambungan tubular, perlu diketahui parameter-parameter yang mempengaruhi besar atau kecilnya konsentrasi tegangan, yaitu:

1. Parameter Beta (β) adalah rasio antara radius atau diameter dari brace dan chord. Pengaruh parameter ini serupa dengan perbedaan antara beban terkonsentrasi di tengah bentangan dan beban terdistribusi dalam desain balok, sehingga parameter beta merupakan parameter yang sangat penting yang berhubungan dengan ovalisasi dari *chord*. Parameter ini mempengaruhi juga terhadap distribusi tegangan.
2. Parameter Tau (τ) adalah ketebalan dari *brace* dibagi dengan ketebalan dari *chord*. Parameter ini dianggap penting dalam memahami efisiensi dari sambungan *tubular*, sehingga parameter ini digunakan dalam definisi *punching shear*. Bertambahnya nilai tau berbanding lurus dengan harga SCF. Parameter ini juga mempengaruhi kekakuan bending relatif dari *chord* dan *brace*, namun

yang utama adalah berpengaruh atas tegangan bending dalam *brace* pada daerah sambungan.

3. Parameter Gamma (γ) adalah rasio antara radius atau diameter terhadap ketebalan *chord*. Nilai gamma yang besar menunjukkan *chord* yang lebih fleksibel dan lunak. Gamma muncul dalam persamaan kompatibilitas untuk *shell* silindris. Nilai SCF akan bertambah seiring dengan bertambahnya nilai gamma.

2.2.3. Sambungan Tubular Multiplanar

Struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* merupakan suatu konstruksi yang sangat kompleks karena struktur *jacket* menggunakan tipe sambungan *tubular multiplanar*. Sambungan multiplanar adalah sambungan yang memiliki lebih dari satu bidang, dan *brace-brace*-nya terletak di bidang yang berbeda.

Dalam melakukan analisis tegangan pada sambungan tubular pada anjungan lepas pantai, *multiplanar joint* memiliki peran yang penting. Tegangan maksimum pada sambungan multiplanar bisa lebih besar atau lebih kecil daripada sambungan uniplanar. Oleh karena itu, formula parametrik sambungan uniplanar tidak dapat langsung digunakan untuk sambungan multiplanar.

2.2.3.1 Klasifikasi Sambungan Multiplanar

Sambungan *tubular multi-planar* terbentuk dari dua atau lebih sambungan *uniplanar*. Variasi dari sambungan *tubular multi-planar* sangat bermacam-macam, seiring dengan berkembang bentuk geometri dari sambungan *uniplanar*.

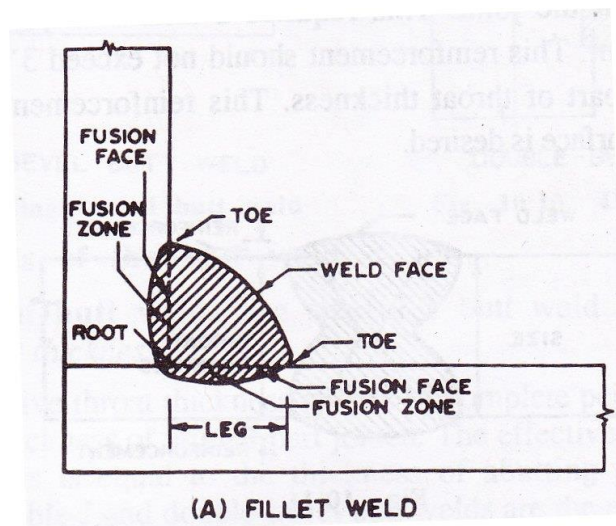
Berikut ini klasifikasi dari sambungan *tubular multi-planar* yang dibentuk dari dua sambungan *uniplanar*.

Tabel 2.1 Klasifikasi Sambungan Multiplanar

$\begin{matrix} \text{I} \\ \text{II} \end{matrix}$	K	KT	N	T	Y	DT	X
K	K-K	K-KT	K-N	K-T	K-Y	K-DT	K-X
KT	KT-K	KT-KT	KT-N	KT-T	KT-Y	KT-DT	KT-X
N	N-K	N-KT	N-N	N-T	N-Y	N-DT	N-X
T	T-K	T-KT	T-N	T-T	T-Y	T-DT	T-X
Y	Y-K	Y-KT	Y-N	Y-T	Y-Y	Y-DT	Y-X
DT	DT-K	DT-KT	DT-N	DT-T	DT-Y	DT-DT	DT-X
X	X-K	X-KT	X-N	X-T	X-Y	X-DT	X-X

2.2.4. Desain Sambungan Las

Perpotongan antara dua hingga lebih dari *tubular joint* membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat/berada disambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Biasanya antar *tubular joint* disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan *toe fillet weld*. Dimana *toe fillet weld* dapat menyambungkan dua *tubular joint* yang akan dilas.



Gambar 2.3 Sambungan Las *Toe Fillet Weld*

2.2.5. Pembebanan Dasar

Untuk menentukan nilai konsentrasi tegangan, sambungan tubular yang ditinjau perlu diberikan pembebanan dasar. Pembebanan dasar pada sambungan tubular mencakup:

a. Beban Aksial

Beban yang bekerja searah dengan sumbu *brace*.

b. *In-Plane Bending Moment*

Beban momen yang bekerja searah sumbu *chord*.

c. *Out-of-plane Bending Moment*

Beban momen yang bekerja tegak lurus sumbu *chord*.

2.2.6. Hot-Spot Stress

Hot-spot stress adalah tegangan maksimum pada sambungan *tubular* yang besarnya beberapa kali lebih besar dari tegangan nominal. *Hot-spot stress* umumnya

terjadi pada suatu struktur yang mengalami diskontinuitas geometri. *Hot-spot stress* merupakan tegangan maksimum dari tegangan yang terdistribusi sepanjang garis lasan, di mana inisial kelelahan retak biasanya mulai dari daerah ini.

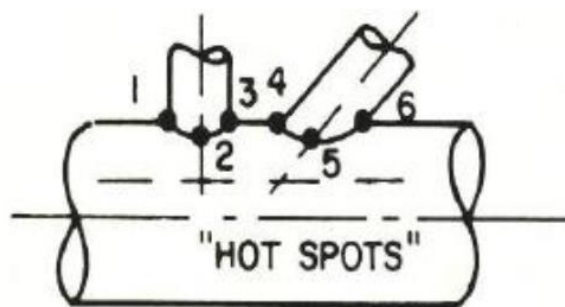
Untuk mengetahui besarnya *hot-spot stress* dengan pendekatan metode elemen hingga, perlu dilakukan ekstrapolasi linier dari tegangan yang berada pada daerah sambungan. Ada banyak sekali referensi yang memberikan prosedur untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier yang digunakan untuk menentukan besarnya *hot-spot stress*. Pada tugas akhir ini penulis mengacu pada DNVGL-RPC203 untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier dalam menentukan besarnya *hot-spot stress*.

2.2.6.1 Tegangan Dasar Pembentuk *Hot-Spot Stress* pada Sambungan

Tubular

a. Tegangan Primer (Tipe A)

Tegangan Primer ditimbulkan oleh kombinasi dari gaya-gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada struktur *jacket*. Tegangan pada lokasi *hot spot* 1, 3, 4 dan 6 (lihat Gambar 2. 4) disebabkan oleh *axial force* dan *in-plane bending moment* (IPB) yang bekerja pada *brace-bracanya*. Sementara itu, tegangan di sekitar *hot spot* 2 dan 5 terutama diakibatkan oleh *axial force* dan *out-of plane bending moment* (OPB) yang bekerja pada *brace-bracanya*.



Gambar 2.4 Letak titik kritis pada sambungan tubular

b. Tegangan Sekunder (Tipe B)

Tegangan sekunder tipe B ini timbul akibat kondisi detail struktur dari sambungan yang ditinjau. Kondisi-kondisi tersebut antara lain sebagai berikut:

- Geometri sambungan yang buruk,
- Perakitan yang buruk,

- c. Kekakuan local sambungan yang bervariasi akibat penguatan yang terlalu kaku,
- d. Penahanan-penahanan *brace* akibat pengelasan melingkar.

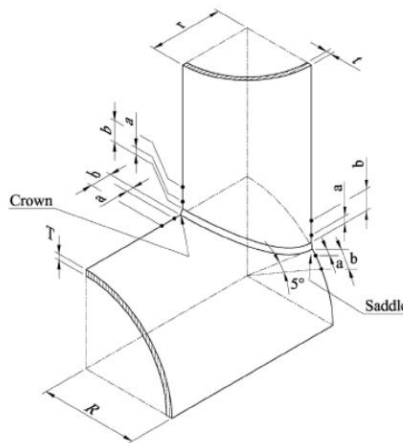
Tegangan Sekunder tipe B ini bersifat memperbesar tegangan-tegangan primer (Tipe A) dari struktur sambungan.

c. Tegangan Sekunder (Tipe C)

Tegangan sekunder tipe C adalah tegangan yang disebabkan oleh factor metalurgis akibat dari kesalahan pengelasan, misalnya; penetrasi las yang kurang, *undercut*, *heavy beading*, porositas las, laju pendinginan yang bervariasi, dan lainlain. Karena faktor metalurgis sangat berpengaruh besar terhadap tegangantegangan *hot spot*, maka kualifikasi pengelas menjadi sangat penting untuk menjamin hasil las-lasan yang berkualitas tinggi yang konsisten. Tegangan sekunder tipe C sangat dominan terjadi di titik-titik *crown* dari *hot spot* (No. 1, 3, 4 dan 6) (lihat Gambar 2.4).

2.2.7. Mencari *Hot-Spot Stress* Menggunakan Ekstrapolasi Linier

Besarnya tegangan *hot-spot* dapat ditentukan dengan menggunakan metode ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Tegangan yang digunakan dalam ekstapolasi linier untuk menentukan besarnya tegangan *hotspot* adalah *maximum principal stress*.



Gambar 2.5 Titik Ekstrapolasi linier pada *tubular joint* untuk mencari *hot-spot stress* (DNVGL-RP-C203, 2016)

Ada banyak sekali penelitian dalam menentukan jarak dua titik yang akan diekstrapolasi linier. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203. Pada DNVGL-RP-C203 jarak dari dua titik ekstrapolasi linier dibedakan untuk kasus pada *brace* dan *chord*. Pada *chord* jarak titik ekstrapolasi juga dibedakan pada posisi *crown* dan *saddle* (lihat Gambar 2.5).

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0.2\sqrt{r t} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$b = 0.65\sqrt{r t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0.2\sqrt{r t} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$b = 0.4\sqrt[4]{r t R T} \dots\dots\dots(2.4)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0.2\sqrt{r t} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$b = 2\pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

r = jari-jari *brace*

t = ketebalan *brace*

R = jari-jari *chord*

T = ketebalan *chord*

2.2.8. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor Konsentrasi Tegangan atau *Stress Concentration Factor* (SCF) merupakan perbandingan antara tegangan *hot spot stress* dan tegangan nominal pada *brace*), secara sistematis dinyatakan dengan :

$$SCF = \frac{HSS}{NS} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

SCF = *Stress Concentration Factor*

HSS = *Hot Spot Stress*

NS = *Nominal Stress*

Besar SCF tiap sambungan akan berbeda tergantung pada geometrinya. SCF merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan. Konsentrasi tegangan mengindikasikan suatu kondisi dimana tegangan local yang tinggi terjadi akibat dari geometri sambungan tersebut, sehingga dibutuhkan keakuratan yang tinggi dalam penentuan nilai tegangan *hot spot* atau nilai SCF untuk jenis sambungan yang berbeda.

SCF digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara tegangan sembarang titik di interseksi dengan tegangan nominal pada *brace* SCF_c dan SCF_b masing-masing juga merupakan fungsi dari tegangan nominal *brace*. Beberapa pendekatan empirik untuk menentukan besaran SCF pada *brace* dan *chord* telah dilakukan.

Pada tugas akhir ini validasi *range* parameter SCF pada *multiplanar tubular joint K double T* akan divalidasikan dengan *range* parameter SCF Eftymou pada *simple KT joint*. Parameter SCF Eftymou *simple KT joint*: $\beta = 0.2 - 1$, $\tau = 0.2 - 1$, $\gamma = 8 - 32$, $\theta = 20-90$ derajat. SCF hasil dari pemodelan akan dibandingkan dengan nilai SCF dari persamaan Eftymiou untuk *simple KT Joint*. Berikut adalah persamaan SCF Eftymiou untuk *simple KT Joint* akibat beban *In-Plane Bending Moment*.

Chord Crown

$$SCF_c = 1.45\beta\tau^{0.85}\gamma(1 - 0.68\beta)(\sin\theta)^{0.7} \dots\dots\dots(2.8)$$

Brace Crown

$$SCF_b = 1 + 0.65\beta\tau^{0.4}\gamma(1.09 - 0.77\beta) + (\sin\theta)^{0.06\gamma-1.16} \dots\dots\dots(2.9)$$

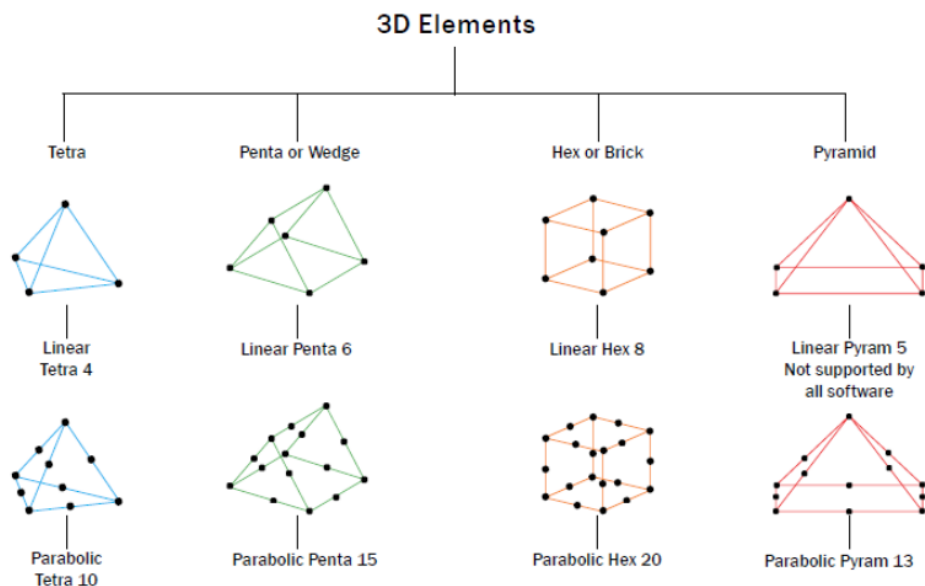
2.2.9. Analisis Tegangan menggunakan Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah Teknik dan fisika matematis. Masalah-masalah tersebut meliputi: Analisa struktur, *heat transfer*, aliran fluida, perpindahan massa, dan elektromagnetik. Pada sambungan tubular dari suatu *jacket platform* terkadang memiliki geometri yang sangat kompleks, sehingga metode elemen hingga adalah metode numerik yang akurat untuk menyelesaikan masalah terkait dengan sambungan *tubular* pada *jacket platform*.

Analisis pada sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga digunakan untuk menentukan distribusi tegangan dan tegangan *hot spot stress* (HSS). Masa awal perkembangan metode elemen hingga pada sambungan *tubular*, struktur sambungan *tubular* dimodelkan dengan elemen cangkang tipis (*thin shell element*) dua dimensi. Perkembangan metode elemen hingga saat ini dapat memodelkan sambungan *tubular* dengan elemen cangkang tebal (*thick shell element*), elemen solid tiga dimensi dan bisa memodelkan las-lasan. Selain itu, perkembangan teknologi komputer dan *software-software* berbasis metode elemen hingga memungkinkan untuk meningkatkan efisiensi dalam penyelesaian persamaan dengan memerlukan *CPU-time* yang lebih kecil dan waktu *running* yang cepat.

2.2.9.1. Pemodelan dengan Elemen Solid Tiga Dimensi

Elemen *solid* tiga dimensi sangat bervariasi macam-macamnya. Pada dasarnya ada empat macam element solid tiga dimensi, yaitu tetrahedron dengan empat titik, penta (*wedge*) dengan enam titik, hexahedron (*brick*) dengan delapan titik dan piramid dengan lima titik. Untuk menambah keakuratan dalam analisis tegangan maka dapat ditambah titik ditengah-tengah antara dua titik.



Gambar 2.6 Tipe Elemen Solid Tiga Dimensi

2.2.9.2 Meshing

Mesh generation merupakan informasi titik nodal koordinat, jumlah titik nodal, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang akan dipakai untuk analisis lokal. Ukuran elemen *mesh* yang lebih besar pada lokasi *hot-spot* akan mendapatkan

hasil yang tidak konservatif. Oleh karena itu, elemen *meshing* pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* dibuat lebih kecil dan untuk daerah yang jauh dari tinjauan pengamatan elemen *meshing*-nya bisa dibuat agak besar. Selain itu, perlu juga dilakukan *meshing sensitivity*. *Meshing sensitivity* adalah pengecekan yang dilakukan untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen *meshing* sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan.

2.2.10. Metode Regresi untuk Perumusan Persamaan SCF

Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometric dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan SCF.

Langkah-langkah membuat persamaan rumus SCF dengan regresi adalah sebagai berikut (Soh *et al*, 1991):

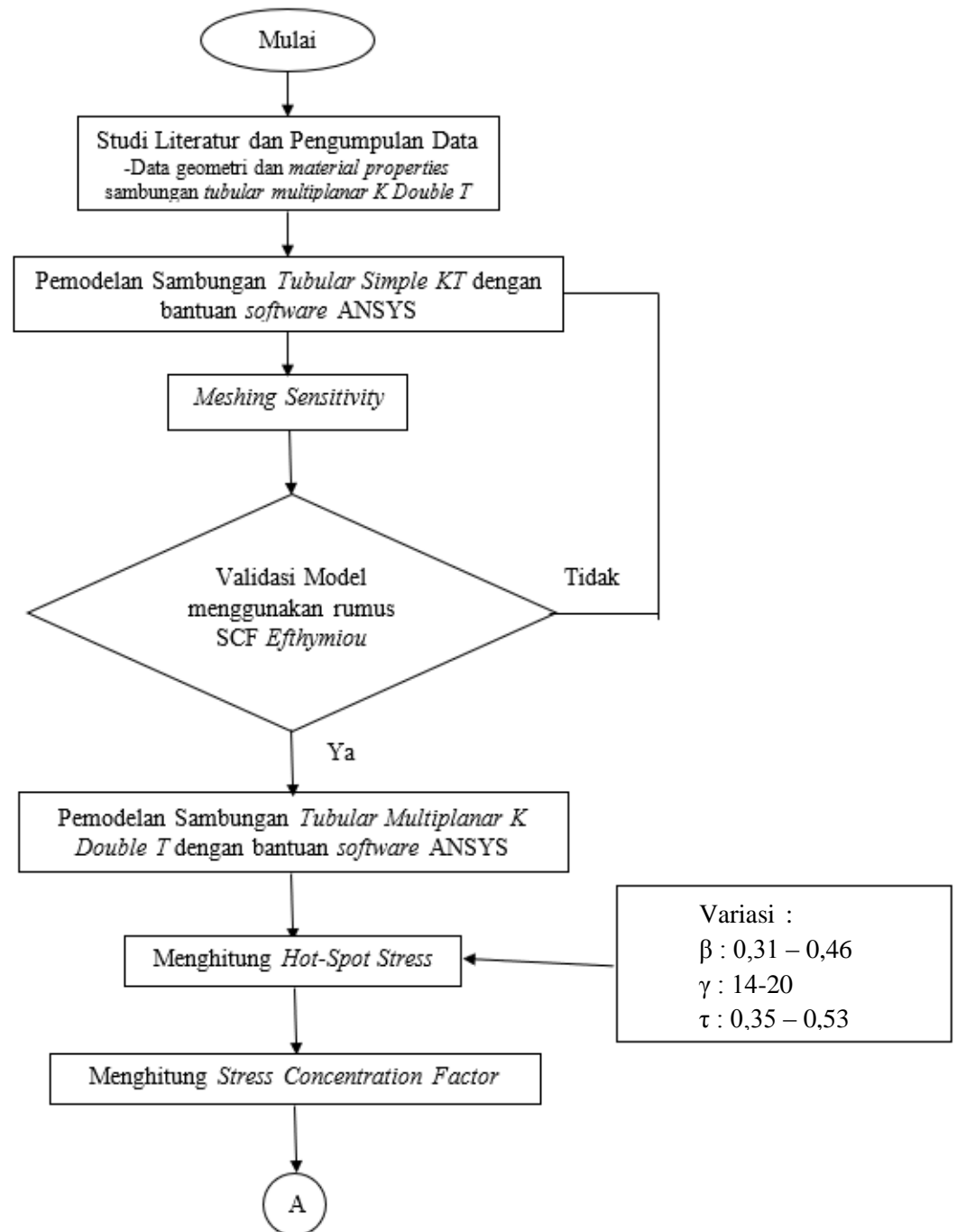
1. Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap $\log \left(\frac{t}{T} \right)$ dari regresi linier didapatkan kemiringan m1.
2. Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1}} \right)$ terhadap $\log \left(\frac{D}{2T} \right)$ dari regresi linier didapatkan kemiringan m2.
3. Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2}} \right)$ terhadap $\log \left(\frac{d}{D} \right)$, dari regresi linier didapatkan kemiringan m3.
4. Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2} \left(\frac{d}{D} \right)^{m3}} \right)$ terhadap $\log (\sin \theta)$, dari regresi linier didapatkan kemiringan m4.
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).
6. Sehingga persamaan SCF untuk sambungan *tubular multi-planar double KT* adalah:

$$SCF = \left(c \left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2} \left(\frac{d}{D} \right)^{m3} (\sin \theta)^{m4} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

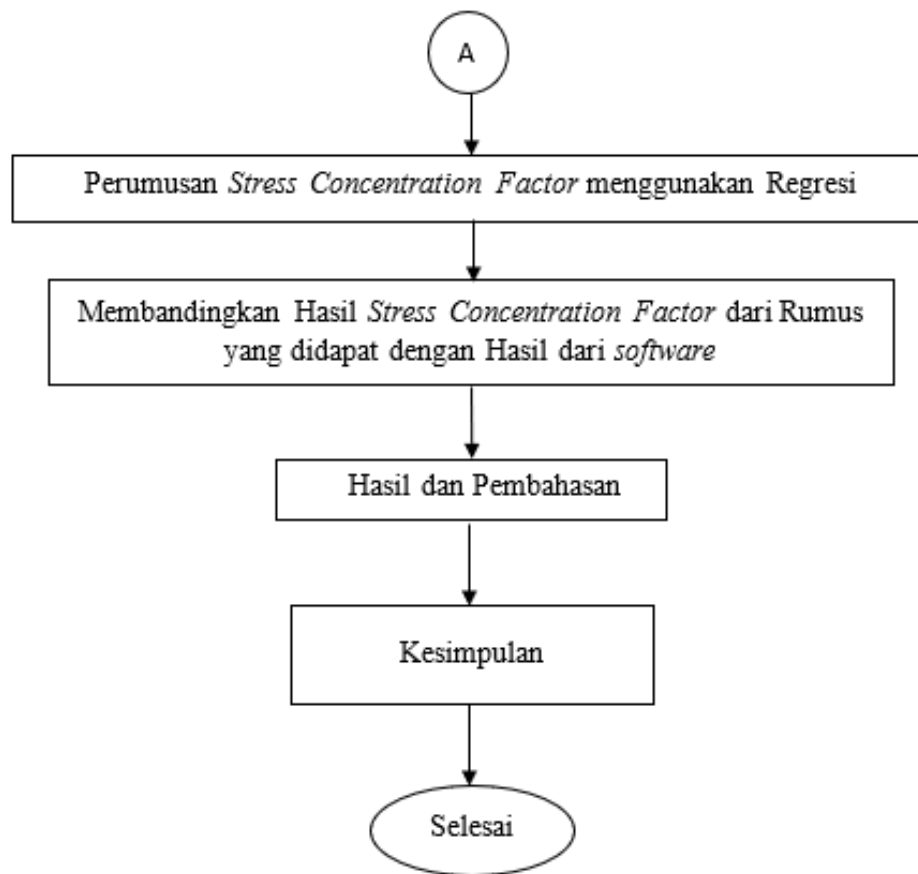
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian (lanjutan)

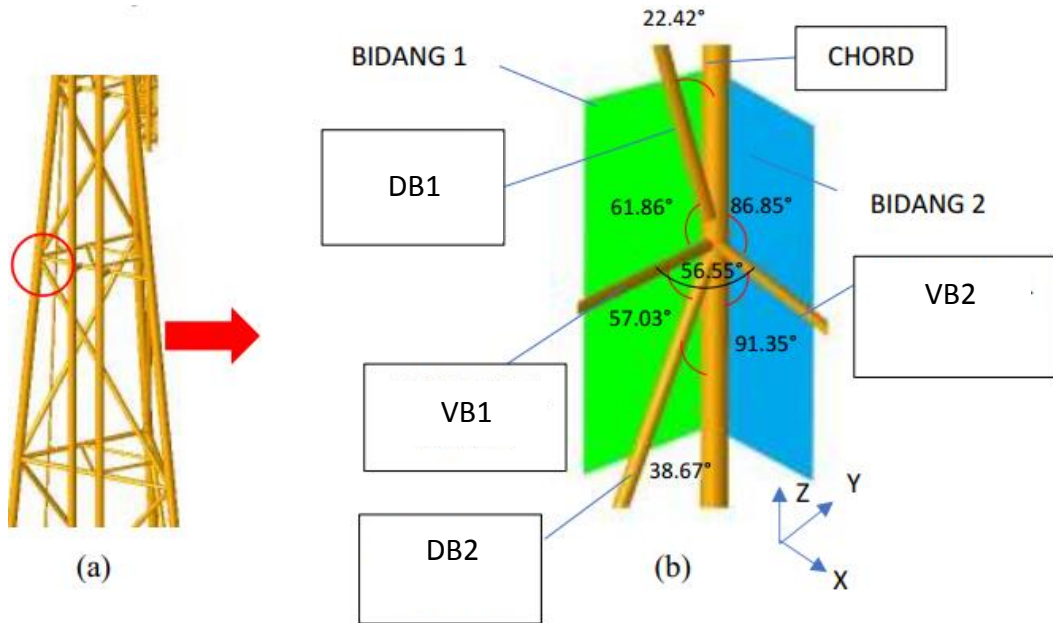
3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penelitian tugas akhir sebelumnya dan jurnal-jurnal serta buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini terutama tentang *hot-spot stress* dan *stress concentration factor*.

3.2.2. Pengumpulan Data

Struktur yang akan dianalisis dalam Tugas Akhir ini adalah *Multi-planar Tubular Joint* pada kaki Jacket. Data yang digunakan dalam analisis lokal ini adalah data geometri struktur dan material yang digunakan.



Gambar 3.2 Braced Tripod (a); Multi-planar Tubular Joint (b)

Tabel 3.1 Data Geometri Sambungan Tubular Multi Bidang

	<i>Thickness (t) (in)</i>	<i>Outside Diameter (OD) (in)</i>	<i>Inside Diameter (ID) (in)</i>	<i>Length (L) (in)</i>
Chord	0,688	24	22,62	1032,68
VB1	0,364	10,75	10,022	278,22
VB2	0,364	10,75	10,022	149,8
DB1	0,5	14	13	487,19
DB2	0,5	14	13	611,5

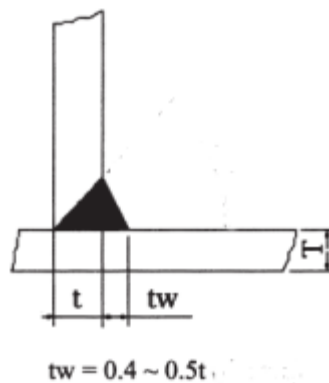
Tabel 3.2 Material Properties Sambungan Tubular Multi Bidang

	<i>Spec & Grade</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Modulus Young (ksi)</i>	<i>Shear Modulus (ksi)</i>	<i>Poisson Ratio</i>
<i>Chord & Brace</i>	API 5L Grade 290	290	29007,5449	11603,0175	0,3

3.2.3. Pemodelan Sambungan *Tubular Uniplanar KT*

Struktur *Tubular Joint Simple KT* dimodelkan secara menyeluruh menggunakan perangkat lunak elemen hingga. Model awal ini menggunakan data geometri dan data struktur. Pembebanan yang dilakukan pada model ini berdasarkan kondisi pembebanan pada persamaan *Efthymiou*. Untuk batas tumpuan yang digunakan pada ujung-ujung chord menggunakan *fixed-end*.

Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai, diperlukan pemodelan sambungan las dengan kerapatan meshing yang lebih halus. Pemodelan sambungan las diperlukan karena perpotongan antara dua tubular akan membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat/ berada disambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Biasanya antar sambungan tubular disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan *fillet weld*. Pada pemodelan las ini menggunakan las dengan bentuk *toe fillet* dengan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1.



Gambar 3.3 Ketentuan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1

3.2.4. Meshing Sensitivity

Pada tahap ini dilakukan pengecekan *meshing* pada sambungan *tubular multiplanar K double T* disetiap titik elemen. Pengecekan ini dilakukan dengan meshing sensitifitas untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan.

3.2.5. Validasi Model

Model yang telah dibuat tadi perlu divalidasi sehingga bisa digunakan untuk proses selanjutnya. Proses validasi pada Tugas Akhir ini menggunakan persamaan SCF *Efthymiou* sebagai parameter perbandingan. Penggunaan persamaan SCF *Efthymiou* dikarenakan cakupannya yang cukup luas. Menurut *Health & Safety*

Executive, persamaan tersebut memberi hasil terdekat dengan hasil uji sambungan baja dalam hal *scatter*.

3.2.6. Pemodelan Sambungan Multiplanar *K Double T*

Setelah model *tubular simple KT Joint* tervalidasi, dilakukan penambahan member *T joint* pada bidang 2 sudut sesuai model awal (lihat Gambar 3.2) dari bidang 1 sehingga membentuk *tubular multiplanar K double T joint*.

3.2.7. Variasi parameter β , τ , γ , dan θ pada Model Sambungan Multiplanar

Berikut adalah variasi parameter *non-dimensional* dari sambungan *tubular multiplanar KDT*:

Tabel 3.3 Variasi parameter sambungan *tubular multiplanar KDT*

Model No.	d (in)	D (in)	t (in)	T (in)	β (beta)	τ (tau)	γ (gamma)	θ (teta)
1	8.160	24.000	0.364	0.688	0.340	0.529	17.442	84.300
2	9.120	24.000	0.364	0.688	0.380	0.529	17.442	84.300
3	10.080	24.000	0.364	0.688	0.420	0.529	17.442	84.300
4	10.750	24.000	0.364	0.688	0.448	0.529	17.442	84.300
5	10.750	24.000	0.234	0.688	0.448	0.340	17.442	84.300
6	10.750	24.000	0.261	0.688	0.448	0.379	17.442	84.300
7	10.750	24.000	0.289	0.688	0.448	0.420	17.442	84.300
8	10.750	24.000	0.364	0.828	0.448	0.440	14.491	84.300
9	10.750	24.000	0.364	0.774	0.448	0.470	15.504	84.300
10	10.750	24.000	0.364	0.727	0.448	0.501	16.506	84.300
11	10.750	24.000	0.364	0.688	0.448	0.529	17.442	80.000
12	10.750	24.000	0.364	0.688	0.448	0.529	17.442	85.000
13	10.750	24.000	0.364	0.688	0.448	0.529	17.442	90.000
14	6.138	19.800	0.241	0.688	0.310	0.350	14.390	88.500
15	6.344	19.825	0.248	0.688	0.320	0.360	14.408	88.000
16	6.551	19.850	0.255	0.688	0.330	0.370	14.426	87.500
17	6.956	19.875	0.268	0.688	0.350	0.390	14.444	87.000
18	7.164	19.900	0.270	0.675	0.360	0.400	14.741	86.500
19	7.372	19.925	0.267	0.650	0.370	0.410	15.327	86.000
20	7.781	19.950	0.269	0.625	0.390	0.430	15.960	85.500
21	7.990	19.975	0.270	0.600	0.400	0.450	16.646	85.000
22	8.200	20.000	0.265	0.575	0.410	0.460	17.391	84.500
23	8.643	20.100	0.264	0.550	0.430	0.480	18.273	84.000
24	8.855	20.125	0.257	0.525	0.440	0.490	19.167	83.500
25	9.292	20.200	0.250	0.500	0.460	0.500	20.200	83.000

3.2.8. Menghitung Faktor Konsentrasi Tegangan

Setelah diketahui tegangan nominal dan tegangan *hot-spotnya*, rumus faktor konsentrasi tegangan adalah:

$$SCF = \frac{HSS}{NS} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.2.9. Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan Metode Regresi

Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometric dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan SCF.

Langkah-langkah membuat persamaan rumus SCF dengan regresi adalah sebagai berikut (Soh *et al*, 1991):

- Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap $\log \left(\frac{t}{T} \right)$ dari regresi linier didapatkan kemiringan m1.
- Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1}} \right)$ terhadap $\log \left(\frac{D}{2T} \right)$ dari regresi linier didapatkan kemiringan m2.
- Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2}} \right)$ terhadap $\log \left(\frac{d}{D} \right)$, dari regresi linier didapatkan kemiringan m3.
- Plotkan $\log \left(\frac{SCF}{\left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2} \left(\frac{d}{D} \right)^{m3}} \right)$ terhadap $\log (\sin \theta)$, dari regresi linier didapatkan kemiringan m4.
- Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).
- Sehingga persamaan SCF untuk sambungan *tubular multi-planar double KT* adalah:

$$SCF = \left(c \left(\frac{t}{T} \right)^{m1} \left(\frac{D}{2T} \right)^{m2} \left(\frac{d}{D} \right)^{m3} (\sin \theta)^{m4} \right) \quad (3.2)$$

3.2.10. Membandingkan SCF Hasil Persamaan Baru dengan Hasil Analisa

Elemen Hingga

Selanjutnya setelah mendapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar K double T*, maka akan dilakukan pengecekan terhadap persamaan SCF untuk mengetahui akurasi dan tingkat kesalahannya. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan hasil dari perhitungan persamaan SCF dengan hasil dari analisis metode elemen hingga. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam melakukan pengecekan:

$$\%Error = \frac{(SCF_{Rumus} - SCF_{FEA})}{SCF_{Rumus}} \times 100\% \quad (3.3)$$

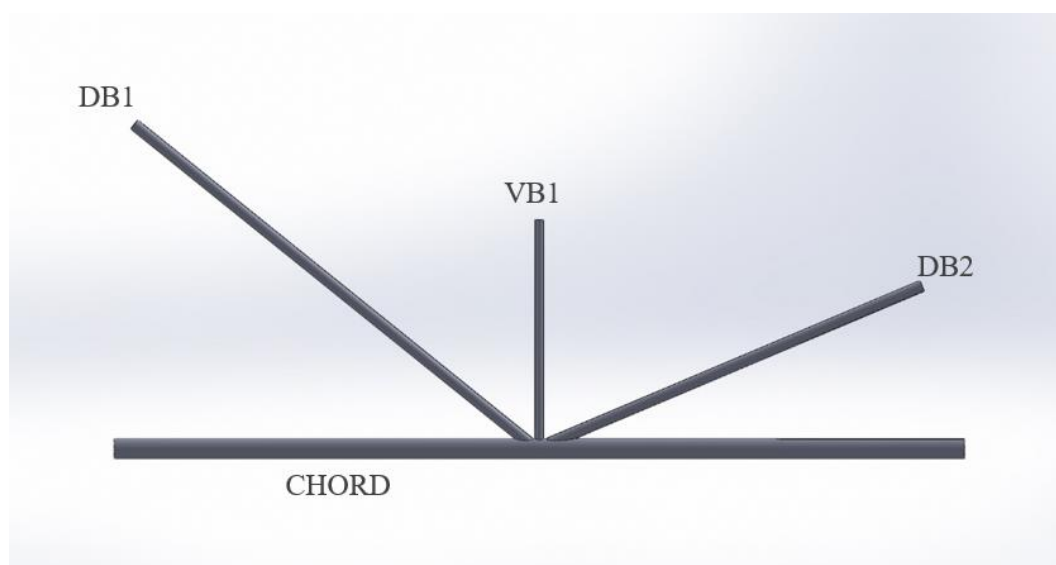
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

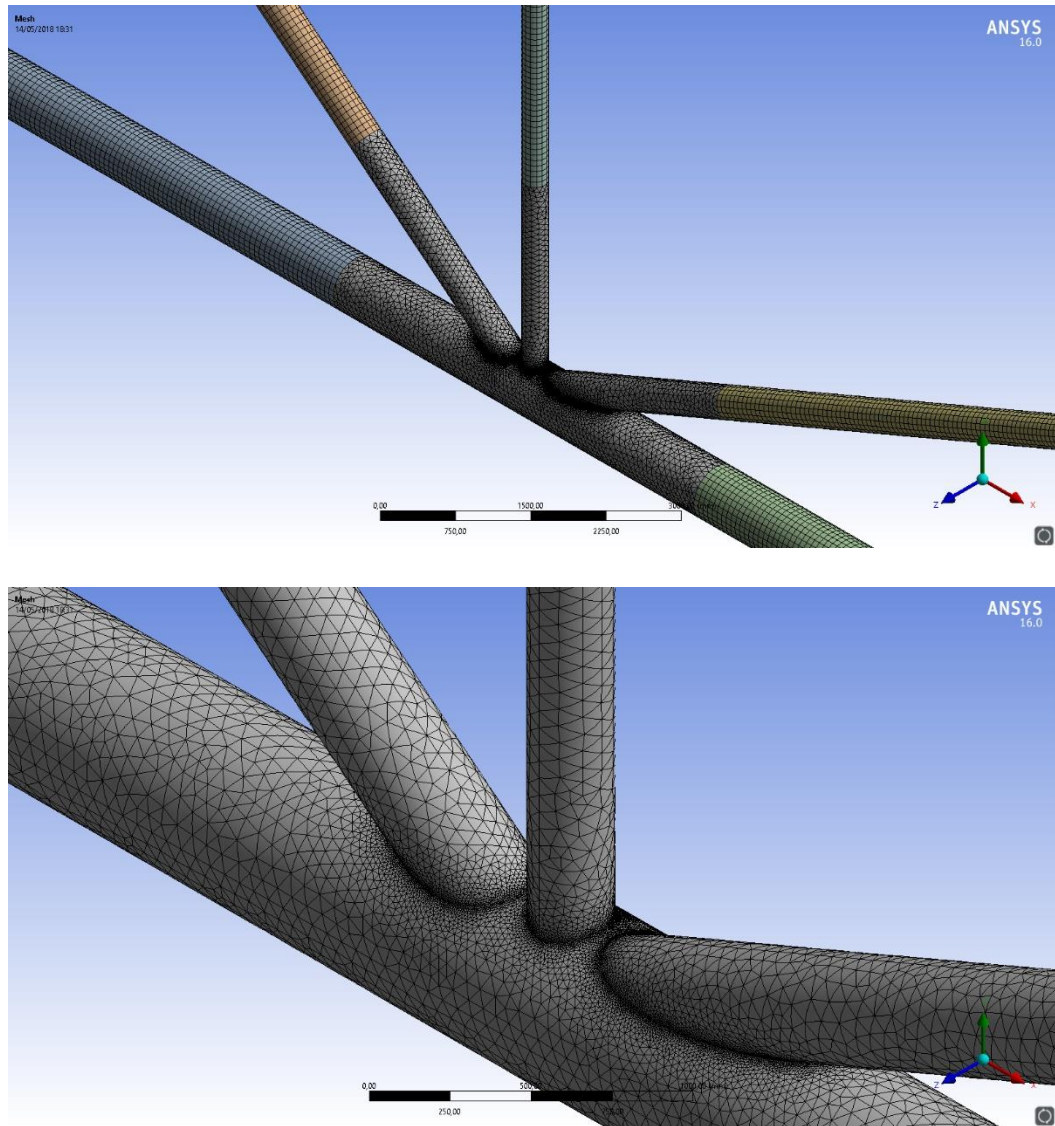
4.1 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan *Tubular Uniplanar KT*

Pemodelan sambungan *tubular uniplanar KT* pada tugas akhir ini menggunakan *solid element* dengan bantuan *software Solidwork 2013*. Data geometri model yang digunakan telah dipaparkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Setelah memodelkan sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan bantuan *software Solidwork 2013*, kemudian file disimpan dalam format .IGS dan di import ke *software* elemen hingga.



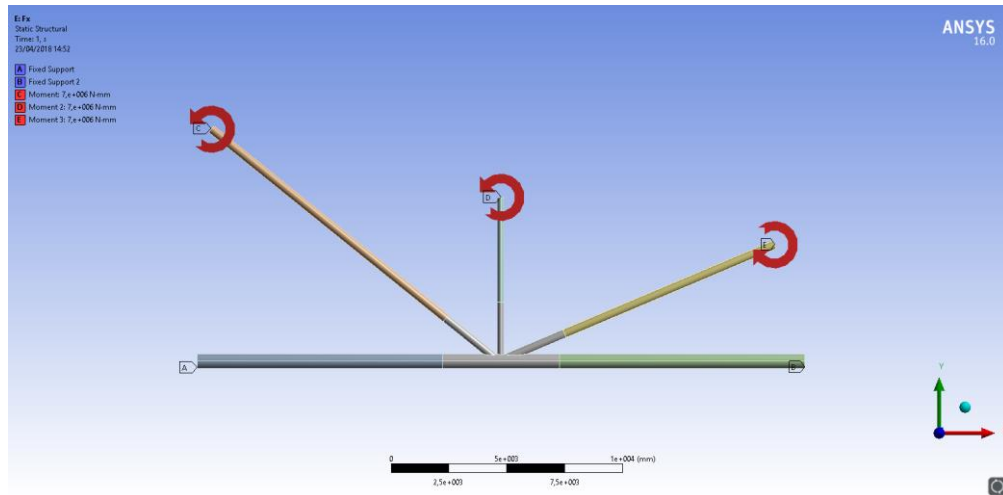
Gambar 4.1 Model Sambungan Tubular

Tahap selanjutnya yaitu *meshing*. Meshing yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *solid* elemen tiga dimensi dengan tipe elemen linier tetrahedron dengan jumlah titik sebanyak empat pada setiap elemen. Pada saat melakukan *meshing*, ukuran *mesh* bisa memilih pilihan *default* atau bisa juga dengan mengatur ukuran *mesh* secara manual. Pada Gambar 4.2 menunjukkan ukuran *meshing* dibuat lebih kecil (halus) pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* sedangkan pada daerah yang lebih jauh dari tinjauan pengamatan bisa dibuat ukuran *meshing* yang agak besar (kasar).



Gambar 4.2 *Meshing* pada Model

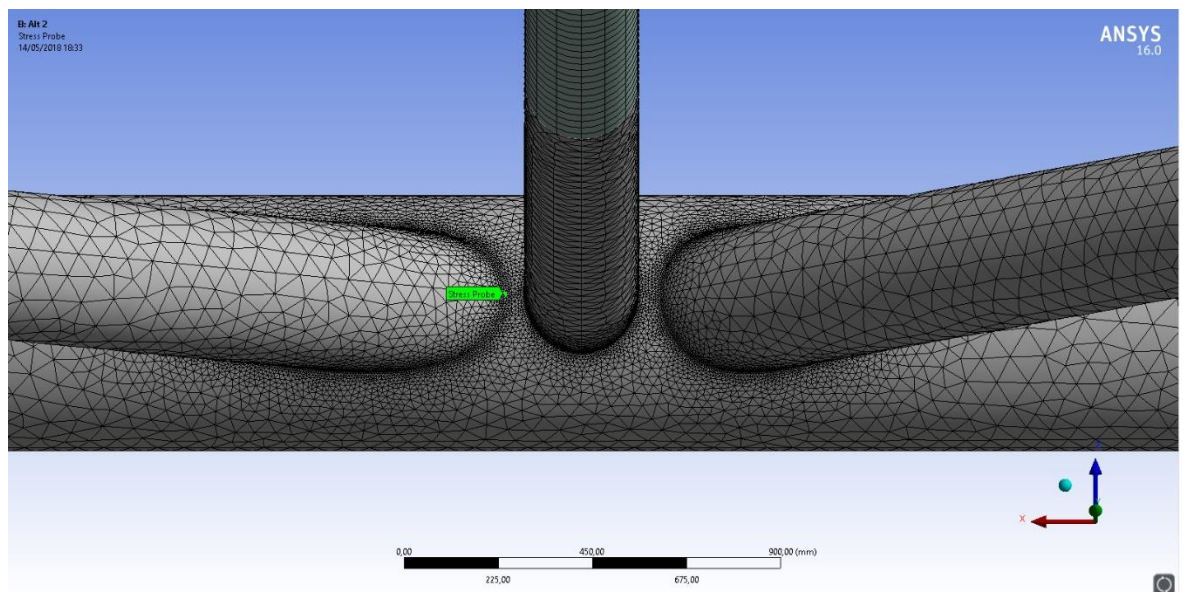
Kondisi batas dan pembebanan pada *chord* dan *brace* dilakukan setelah *meshing* selesai dilakukan. Kondisi batas jepit (*fixed-end*) pada kedua ujung *chord* digunakan pada tugas akhir ini dan beban yang mengenai struktur merupakan beban *in-plane-bending moment* yang dimodelkan di ujung *brace*. Berdasarkan penelitian yang sudah ada menyebutkan bahwa model sambungan *tubular* dengan parameter $\alpha > 12$, besarnya tegangan pada daerah sambungan tidak dipengaruhi oleh tumpuan pada *chord* (Lotfollahiyaghin, 2011). Pada Tugas Akhir ini model dikenai beban *In-Plane Bending Moment* dengan nilai sebesar 7 kNm. Ilustrasi mengenai pembebanan dan kondisi batas bisa dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kondisi Batas dan Pembebanan pada Model

4.2 *Meshing Sensitivity Sambungan Tubular Uniplanar KT*

Keakuratan dan konsistensi *output* pada analisa dengan pendekatan elemen hingga bergantung pada jumlah elemen yang digunakan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa sensitifitas *meshing* untuk mendapatkan hasil tegangan yang konstan dengan jumlah elemen tertentu. Dalam analisa sensitifitas *meshing*, kondisi pembebanan dan kondisi batas model yang digunakan harus sama dan yang divariasikan hanya jumlah elemennya, serta letak titik tinjau harus berada pada titik yang sama untuk berbagai variasi jumlah elemen.

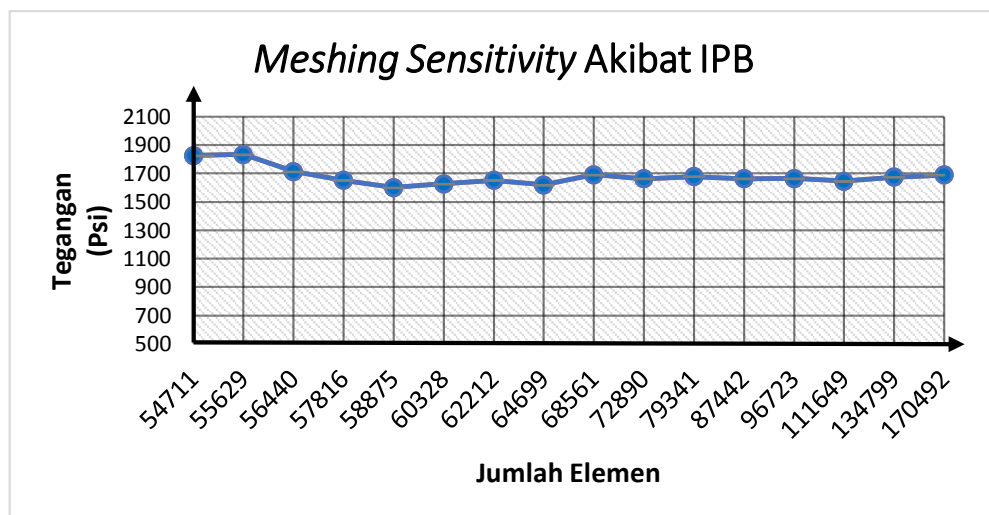


Gambar 4.4 Letak Titik Tinjau pada *Meshing Sensitivity*

Analisis sensitifitas *meshing* pada model *tubular joint KT* dilakukan dengan kondisi model dikenai beban *In-Plane Bending Moment*. Berikut adalah hasil analisis sensitifitas *meshing* pada model:

Tabel 4.1 *Meshing Sensitivity Akibat In-Plane Bending Moment*

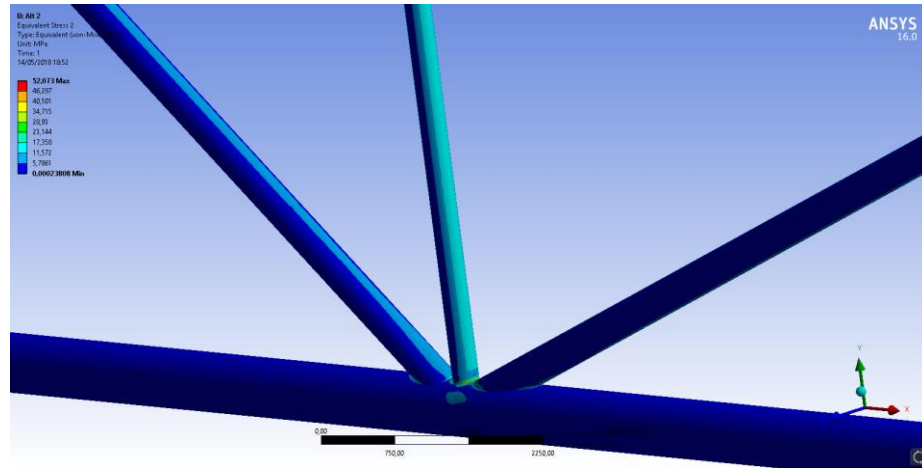
Jumlah Elemen	Tegangan (psi)	Error (%)
54711	1826,2	
55629	1833,4	0,39
56440	1713	6,57
57816	1651,5	3,59
58875	1600,7	3,08
60328	1627	1,64
62212	1651,1	1,48
64699	1619,6	1,91
68561	1690,4	4,37
72890	1662,7	1,64
79341	1677,2	0,87
87442	1663,4	0,82
96723	1664,6	0,07
111649	1646,2	1,11
134799	1673,9	1,68
170492	1689,6	0,94



Gambar 4.5 Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar KT*

4.3 Validasi Tegangan Nominal pada *Brace*

Tegangan *nominal* pada *brace* yang didapat dari hasil pemodelan elemen hingga akan divalidasikan dengan persamaan tegangan nominal yang sudah ada (persamaan 4.1). Tegangan nominal pada analisis lokal menggunakan *probe stress* yang ada pada *software* elemen hingga.



Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Tegangan dengan bantuan *Software* Elemen Hingga

Tegangan yang diinginkan ditinjau pada daerah yang jauh dari sambungan untuk menghindari diskontinuitas, dimana pada daerah sambungan yang mengalami diskontinuitas merupakan daerah yang mengalami tegangan maksimum (*hot-spot stress*). Pada tugas akhir ini hanya *brace* yang memiliki tegangan tertinggi yang ditinjau, dalam hal ini merupakan *vertical brace 1*.

$$\sigma_{n,ipb} = \frac{32dM_i}{\pi [d^4 - (d - 2t)^4]} \quad \dots\dots(4.1)$$

Berdasarkan data pada table 3.1 dan asumsi beban momen yang mengenai struktur sebesar 7000 Nm, maka didapatkan tegangan nominal sebesar 14,327 MPa. Hasil ini nantinya akan digunakan sebagai pembanding hasil tegangan dengan bantuan *software*.

Tabel 4.2 Tegangan nominal pada *software* elemen hingga

No	Tegangan (MPa)	No	Tegangan (MPa)
1	14,397	19	14,256
2	14,077	20	14,145
3	14,386	21	14,142
4	14,131	22	14,319
5	14,291	23	14,197
6	14,217	24	14,37
7	14,175	25	14,298
8	13,905	26	14,198
9	14,242	27	14,357
10	14,107	28	14,383
11	13,966	29	14,231
12	13,987	30	14,322
13	14,287	31	14,23
14	14,146	32	14,334
15	13,992	33	14,28
16	14,266	34	14,142
17	13,998	35	14,172
18	14,229		

Setelah meninjau 35 titik pada daerah tinjauan, kemudian dilakukan penghitungan rata-rata dari 35 nilai tersebut dan didapatkan nilai sebesar 14,205 MPa. Hasil rata-rata tersebut dibandingkan dengan hasil perhitungan sebelumnya.

Dari Tabel 4.3 didapatkan bahwa presentase *error*nya 0,852%. Besarnya presentase *error*nya masih berada dibawah 1%, hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan nominal model elemen hingga sudah mendekati tegangan nominal yang dihasilkan oleh persamaan.

Tabel 4.3 Perbandingan Tegangan Nominal Persamaan dengan Tegangan Nominal *Software*

Tegangan Nominal Persamaan (MPa)	Tegangan Nominal <i>Software</i> (Mpa)	Error (%)
14,327	14,205	0,852

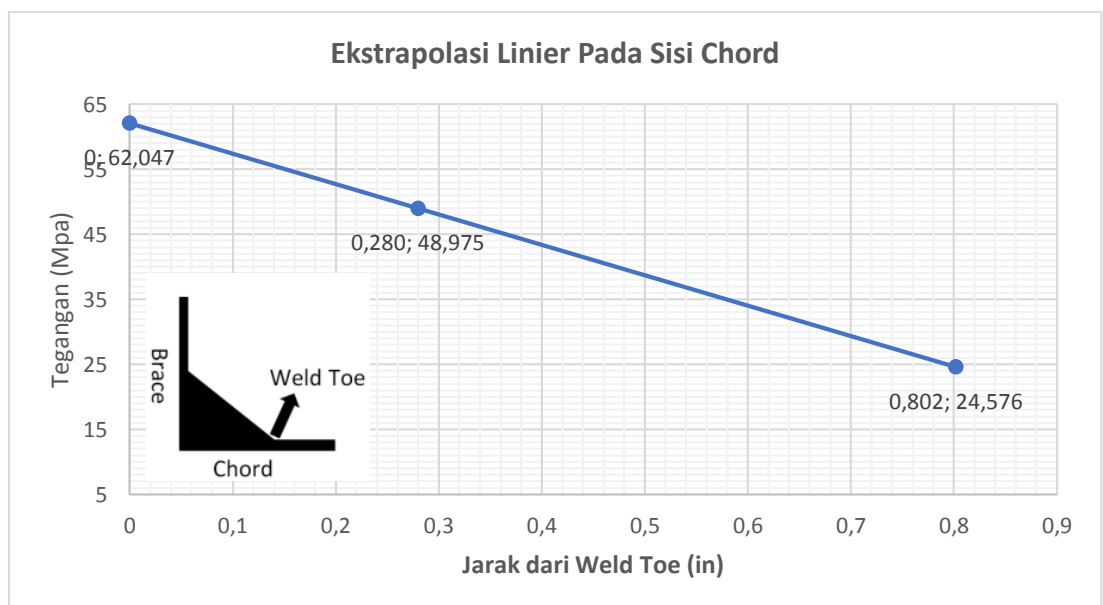
4.4 Tegangan *Hot-Spot* pada Sambungan *Tubular Uniplanar KT*

Pada analisis tegangan dengan pendekatan metode elemen hingga, besarnya tegangan pada titik yang ditinjau didapatkan dari tegangan rata-rata yang dihitung dari semua elemen yang berdekatan. Tegangan pada titik *weld toe* didapatkan dari

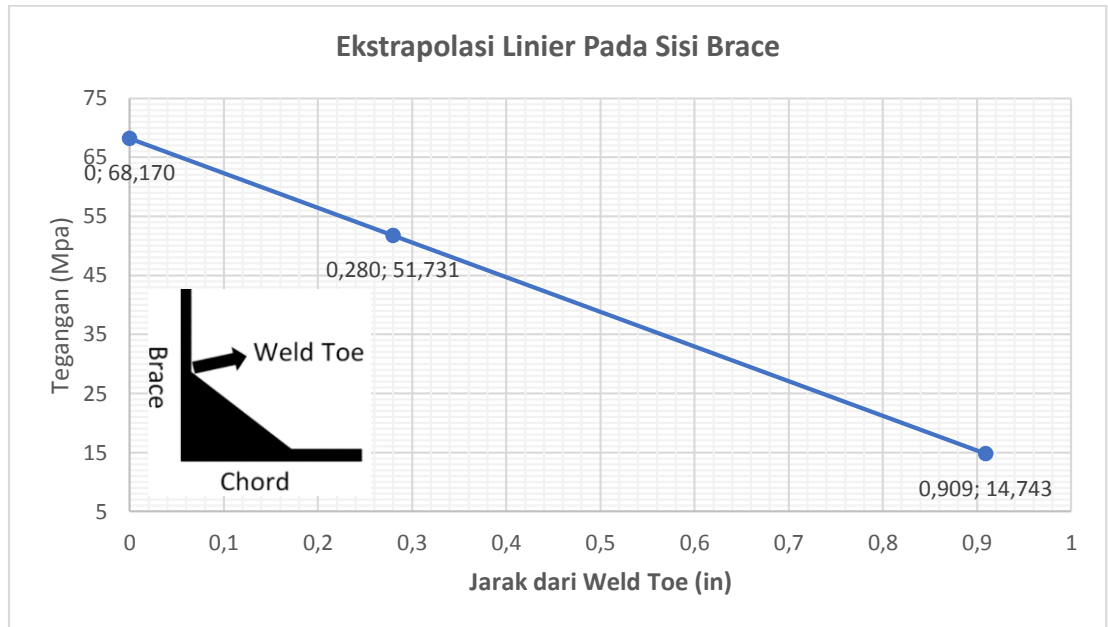
tegangan rata-rata sehingga tidak akurat karena adanya diskontinuitas di daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini besarnya tegangan *hotspot* ditentukan dengan menggunakan ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203.

Beban yang diberikan berupa *in-plane bending moment* pada ketiga *brace* dengan nilai yang sudah diasumsikan sebelumnya, dan pada bagian ujung *chord* diberikan *fixed support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *maximum principal stress*. Pengertian *maximum principal stress* sendiri adalah tegangan yang cenderung digunakan struktur dengan mengabaikan tegangan geser.

Tegangan maksimum yang terjadi pada output *maximum principal stress* dijadikan sebagai ekstrapolasi linier untuk menentukan tegangan *hotspot* pada *brace* dan *chord*. Sedangkan tegangan nominal ditemukan pada titik dimana tegangan yang dihasilkan konstan. Tegangan nominal ini didapatkan dari *probe stress* di ANSYS. Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada *brace* dan *chord*.



Gambar 4.7 Ekstrapolasi linier pada *chord*



Gambar 4.8 Ekstrapolasi linier pada *brace*

Pada gambar di atas menunjukkan untuk sumbu y yaitu tegangan *maximum principal stress* dengan satuan MPa dan untuk sumbu x adalah jarak dari tegangan maksimum dan tegangan *hot-spot* merupakan nilai sumbu y pada saat nilai sumbu $x = 0$. Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *chord* adalah 62,047 MPa dan dari Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *brace* adalah 68,170 MPa.

4.5 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan *Tubular Uniplanar KT*

Faktor konsentrasi tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7. Setelah mendapat nilai factor konsentrasi tegangannya, dilakukan perbandingan nilai factor konsentrasi tegangan dari hasil pendekatan elemen hingga dengan nilai factor konsentrasi tegangan yang didapatkan menggunakan persamaan *SCF Efthymiou* sebagai bentuk validasi terhadap model yang telah dibuat.

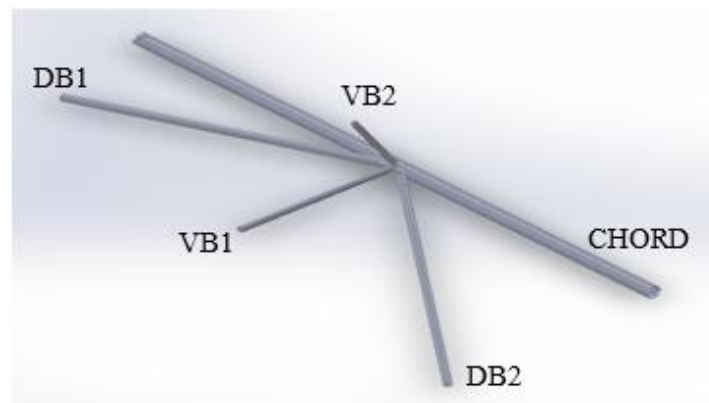
Tabel 4.4 Perbandingan SCF hasil pendekatan elemen hingga dengan SCF hasil Persamaan Efthymiou

	SCF RUMUS	SCF FEM	Error (%)
CHORD	4,586	4,357	4,990882
BRACE	4,933	4,787	2,969507

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa *stress concentration factor* dengan pendekatan elemen hingga dan persamaan Efthymiou dengan persentase *error* dibawah 5 %, sehingga model sambungan *tubular uniplanar* KT dianggap valid.

4.6 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*

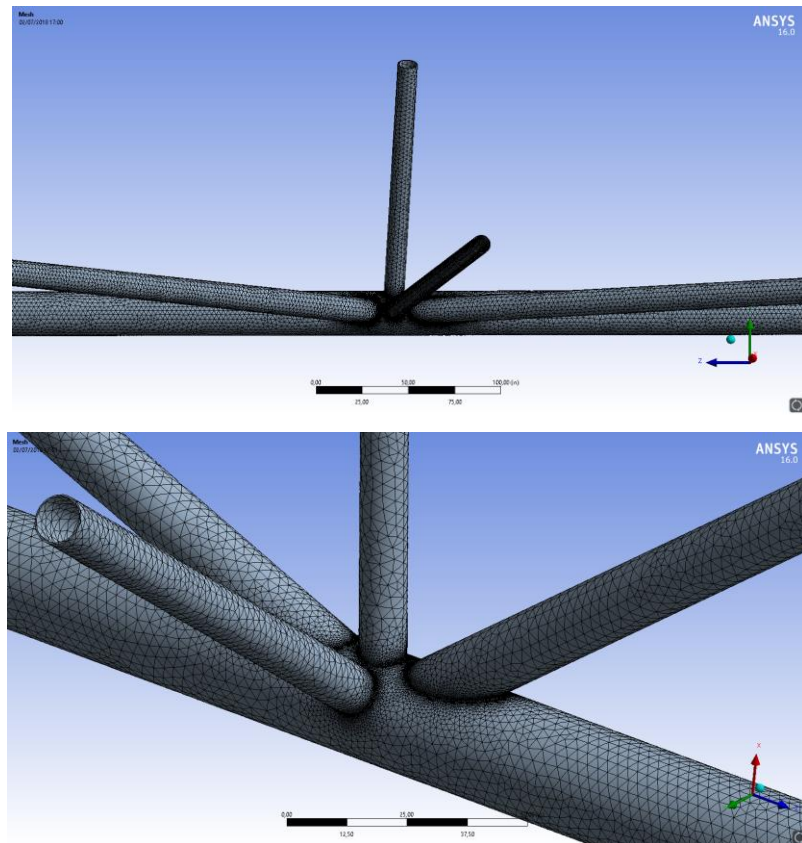
Sambungan *tubular multiplanar KDT* dimodelkan dengan menambahkan member VB2 (gambar 3.2) pada model sambungan *tubular uniplanar KT* dengan sudut sesuai model global yang telah divalidasikan. Penambahan member VB2 dimodelkan menggunakan *software Solidwork 2013* (lihat Gambar 4.9). Data geometri model yang digunakan telah dipaparkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 dan sudut antara *brace* dengan *brace* dan *brace* dengan *chord* disesuaikan dengan data dari model global yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Selain itu, sambungan *tubular multiplanar KDT* juga dimodelkan dengan variasi geometri sesuai table 3.3. Variasi geometri yang dilakukan hanya pada *Vertical Brace 1* (VB1) dikarenakan memiliki tegangan paling besar diantara member lainnya. Sambungan tubular multiplanar KDT yang telah dimodelkan di *Solidwork 2013* disimpan dalam format .IGES atau .IGS untuk selanjutnya di-*import* ke dalam *software ANSYS*.



Gambar 4.9 Model sambungan tubular multiplanar KDT

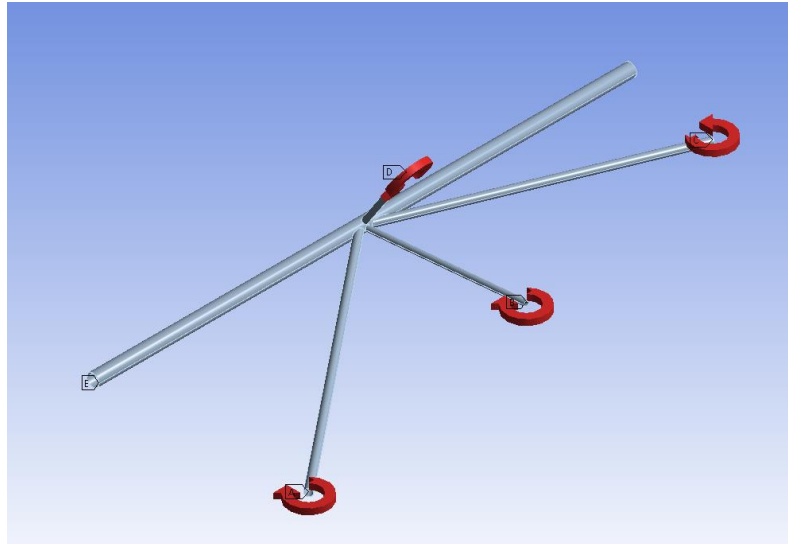
Setelah model dari *software Solidwork 2013* dalam format .IGS di *import* ke *software* elemen hingga, maka kemudian dilakukan *meshing*. Pada saat melakukan *meshing*, ukuran *mesh* bisa dipilih secara otomatis (*default*) atau bisa juga dengan mengatur ukuran elemen secara manual pada struktur model. Sama seperti model sebelumnya, ukuran *meshing* dibuat lebih kecil (halus) pada daerah sambungan

antara *brace* dan *chord* sedangkan pada daerah yang lebih jauh dari tinjauan pengamatan bisa dibuat ukuran *meshing* yang agak besar (kasar).



Gambar 4.10 *Meshing* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT

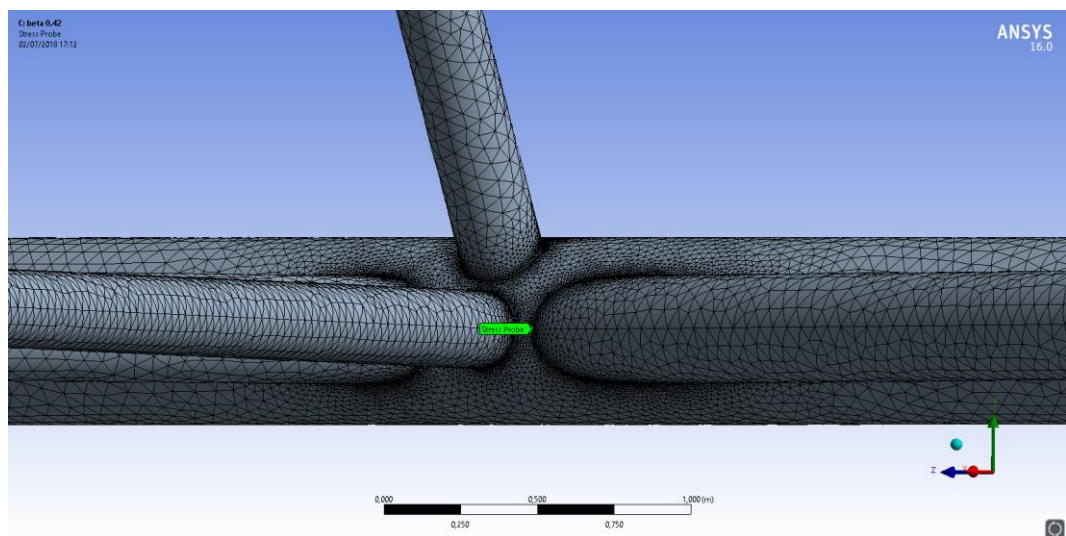
Kondisi batas dan pembebanan pada *chord* dan *brace* dilakukan setelah *meshing* selesai dilakukan. Kondisi batas untuk analisis struktur menggunakan jepit (*fixed*) pada kedua ujung *chord*. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011) menyebutkan bahwa model sambungan *tubular* dengan parameter $\alpha > 12$, besarnya tegangan pada daerah sambungan tidak dipengaruhi oleh tumpuan pada *chord*. Pada Tugas Akhir ini model dikenai beban *In-Plane Bending Moment* dengan nilai sebesar 7 kNm dengan arah pembebanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kondisi Batas dan Pembebanan pada Model sambungan *tubular multiplanar* KDT

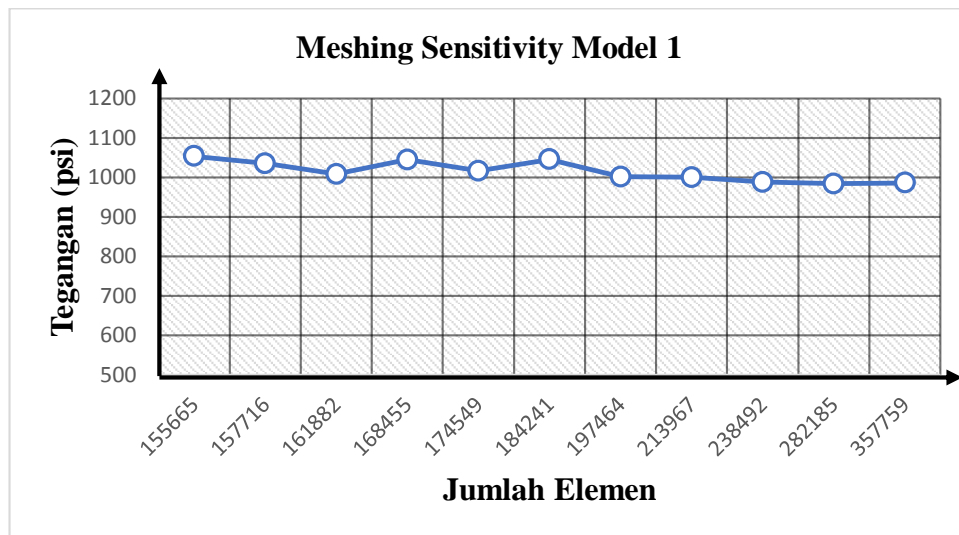
4.7 Meshing Sensitivity Sambungan Tubular Multiplanar KDT

Analisis sensitivitas *meshing* dilakukan untuk mengukur konsistensi dan keakuratan *output* dari analisis pemodelan *software* elemen hingga dengan jumlah elemen yang digunakan. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan tumpuan dan pembebanan yang sama namun divariasikan terhadap jumlah elemennya dengan letak titik tinjau harus berada pada titik yang sama untuk berbagai variasi jumlah elemen. Letak titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 4.12.

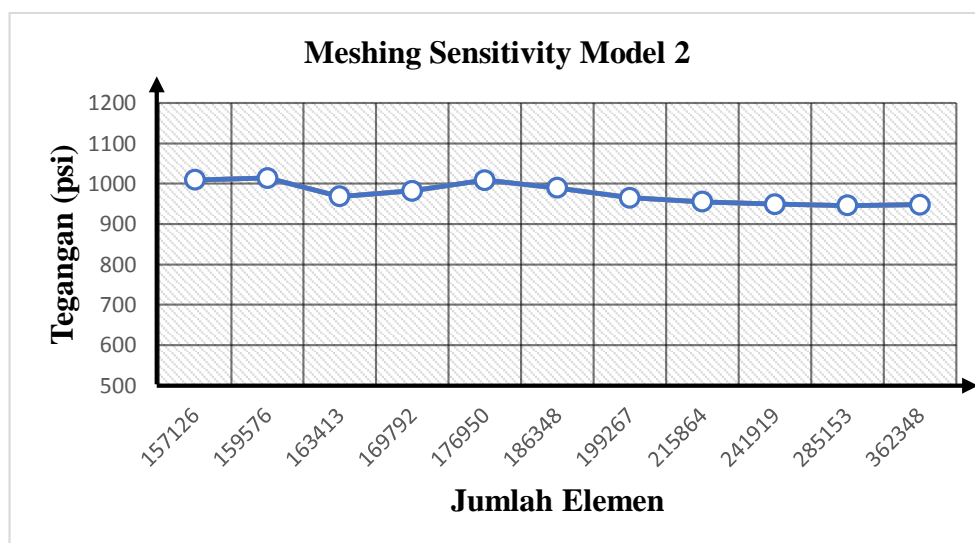


Gambar 4.12 Letak Titik Tinjau pada *Meshing Sensitivity*

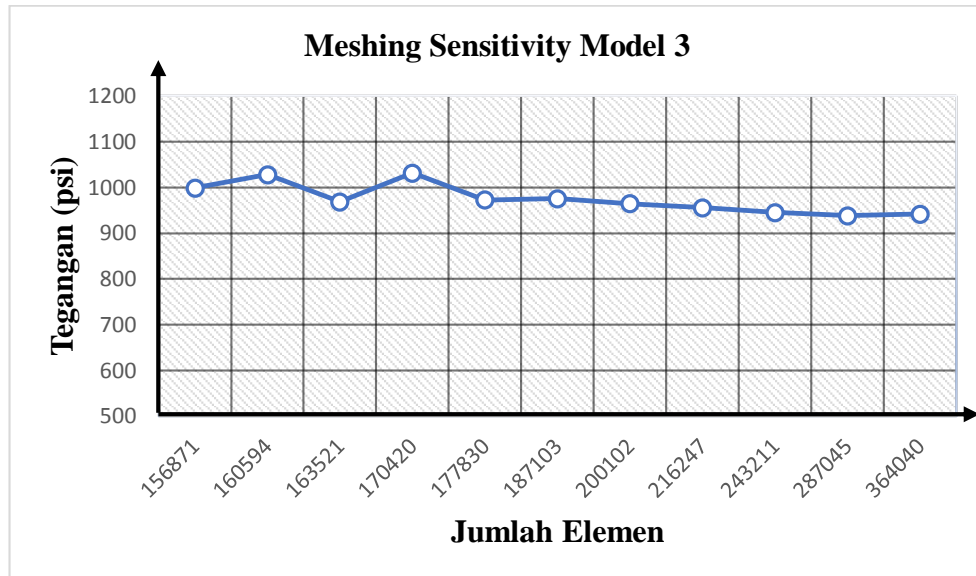
Grafik dibawah ini menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada 3 model sambungan *tubular multiplanar* KDT sebagai *sample* untuk menentukan jumlah *mesh* yang dipakai untuk 22 model lainnya. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada jumlah elemen antara 190.000-210.000 elemen. Hasil dari ketiga grafik dibawah tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan sehingga jumlah elemen dari 3 *sample* bisa digunakan untuk model lainnya.



Gambar 4.13 Grafik *meshing sensitivity* pada model 1 sambungan *tubular multiplanar* KDT



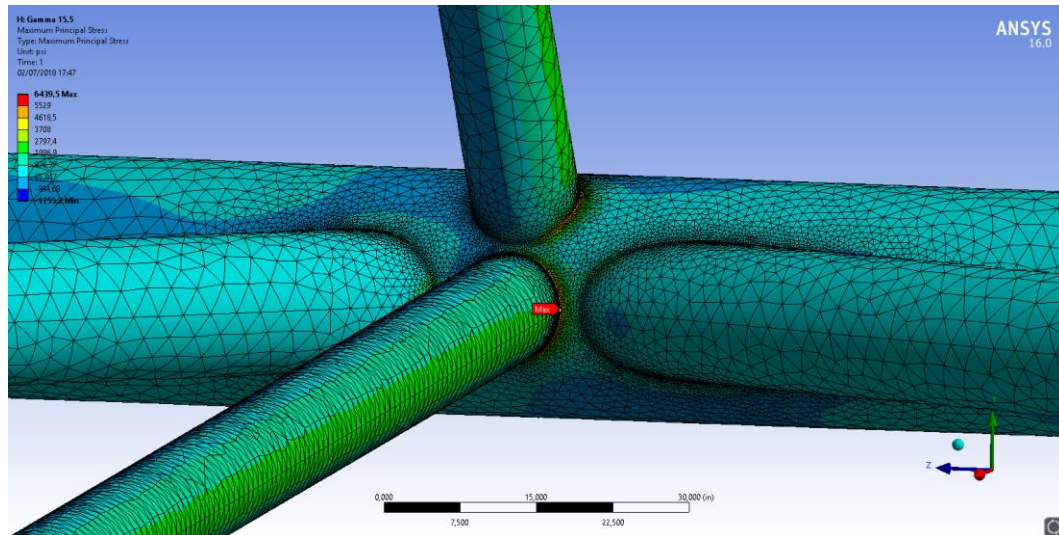
Gambar 4.14 Grafik *meshing sensitivity* pada model 2 sambungan *tubular multiplanar* KDT



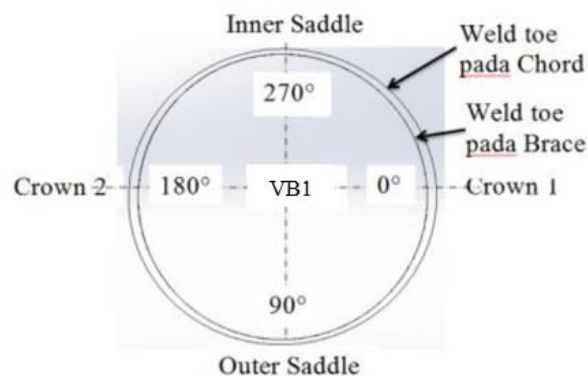
Gambar 4.15 Grafik *meshing sensitivity* pada model 3 sambungan *tubular multiplanar* KDT

4.8 Distribusi Tegangan di Sekitar Sambungan *Brace* dan *Chord* dengan Variasi Parameter Non-Dimensional

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi parameter non-dimensional terhadap distribusi tegangan di sepanjang garis sambungan antara *brace* dengan *chord*. Pada tugas akhir ini, distribusi tegangan yang ditinjau hanya di sepanjang garis *chord weld toe* pada garis sambungan yang memiliki tegangan paling besar. Pada Gambar 4.16 dapat dilihat sambungan antara *brace* dengan *chord* yang mengalami tegangan terbesar akibat beban *IPB* terletak pada sambungan antara *brace* VB1 dengan *chord*. Garis sambungan berbentuk oval dengan pendekatan sudut (derajat) dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.16 Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan *brace* VB1



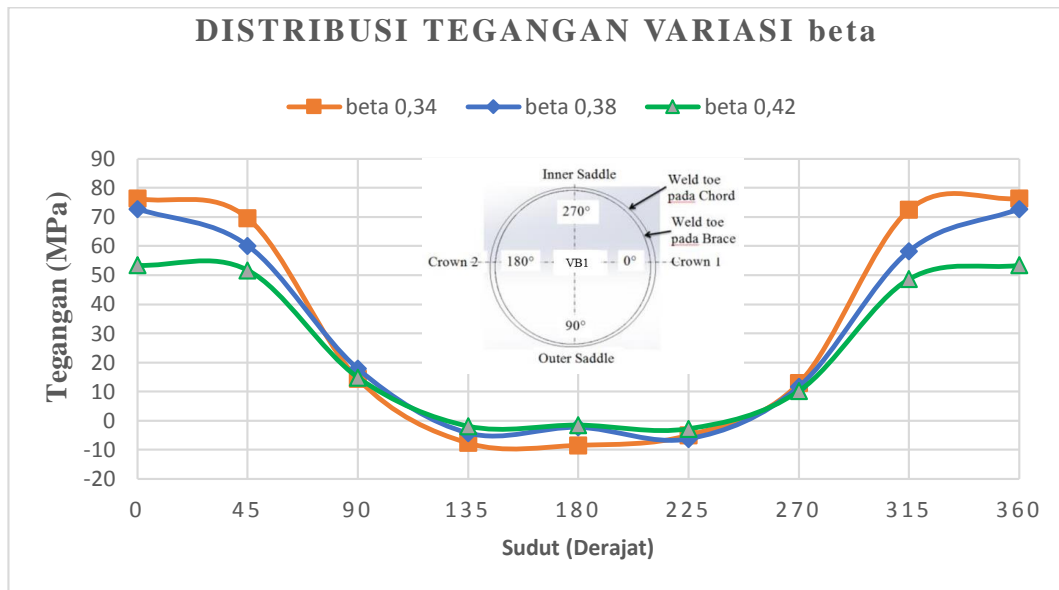
Gambar 4.17 Garis sambungan *brace*

4.8.1 Pengaruh Variasi Parameter Beta Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter β merupakan rasio perbandingan antara diameter *brace* dengan diameter *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter β divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter β dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu $\beta = 0,34$; $\beta = 0,38$ dan $\beta = 0,42$. Semua parameter selain parameter β , yaitu parameter τ , dan θ besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Gambar 4.18 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk $\beta = 0,34$; $\beta = 0,38$ dan $\beta = 0,42$, dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik crown 1 dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan MPa. Hasil analisa menunjukkan bahwa tegangan pada suatu titik di daerah sambungan akan semakin

kecil seiring meningkatnya nilai parameter β struktur. Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik yang sama, yaitu pada sudut 0° .

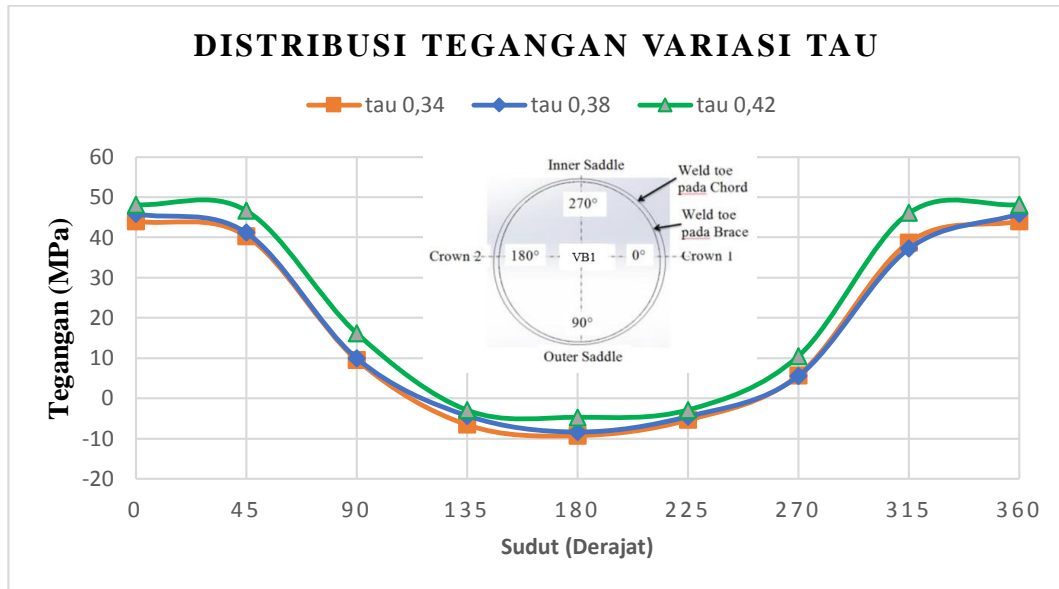


Gambar 4.18 Pengaruh dari parameter β terhadap distribusi tegangan

4.8.2 Pengaruh Variasi Parameter τ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter τ merupakan rasio perbandingan antara diameter chord dengan ketebalan chord. Pada tugas akhir ini besarnya parameter τ divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu $\tau = 0,34$; $\tau = 0,38$ dan $\tau = 0,42$. Semua parameter selain parameter τ , yaitu parameter γ , β , dan θ besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa semakin besar parameter τ maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik crown 1 (dengan sudut 0°).

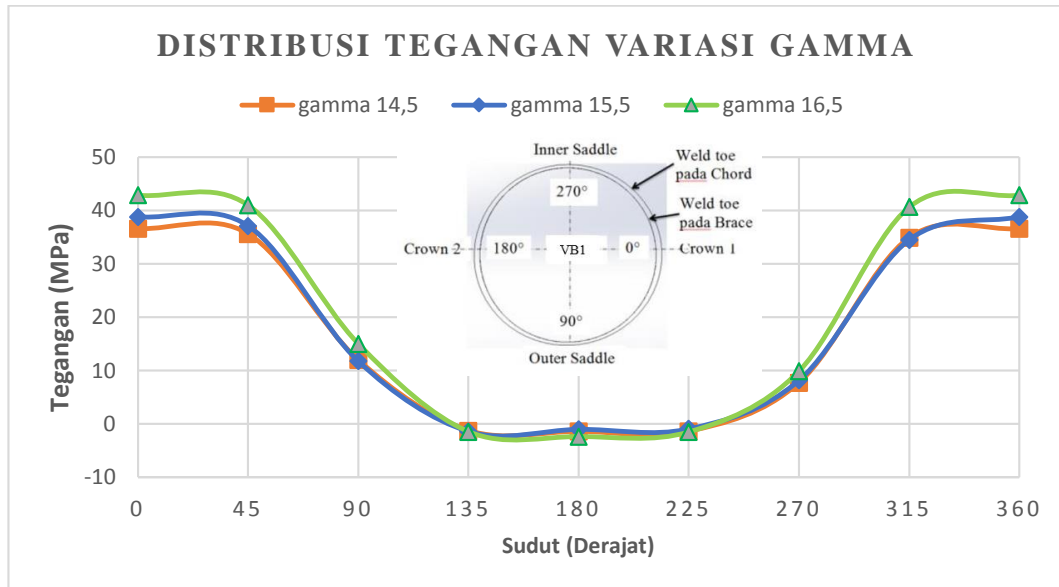


Gambar 4.19 Pengaruh dari parameter τ terhadap distribusi tegangan

4.8.3 Pengaruh Variasi Parameter Gamma Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter merupakan rasio perbandingan antara diameter chord dengan ketebalan chord. Pada tugas akhir ini besarnya parameter γ divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter γ dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu $\gamma = 14,5$; $\gamma = 15,5$; dan $\gamma = 16,5$. Semua parameter selain parameter γ , yaitu parameter τ , β dan θ besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai parameter γ maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Pada model $\gamma = 14,5$; $\gamma = 15,5$; dan $\gamma = 16,5$, tegangan maksimum terjadi pada sudut 0° .

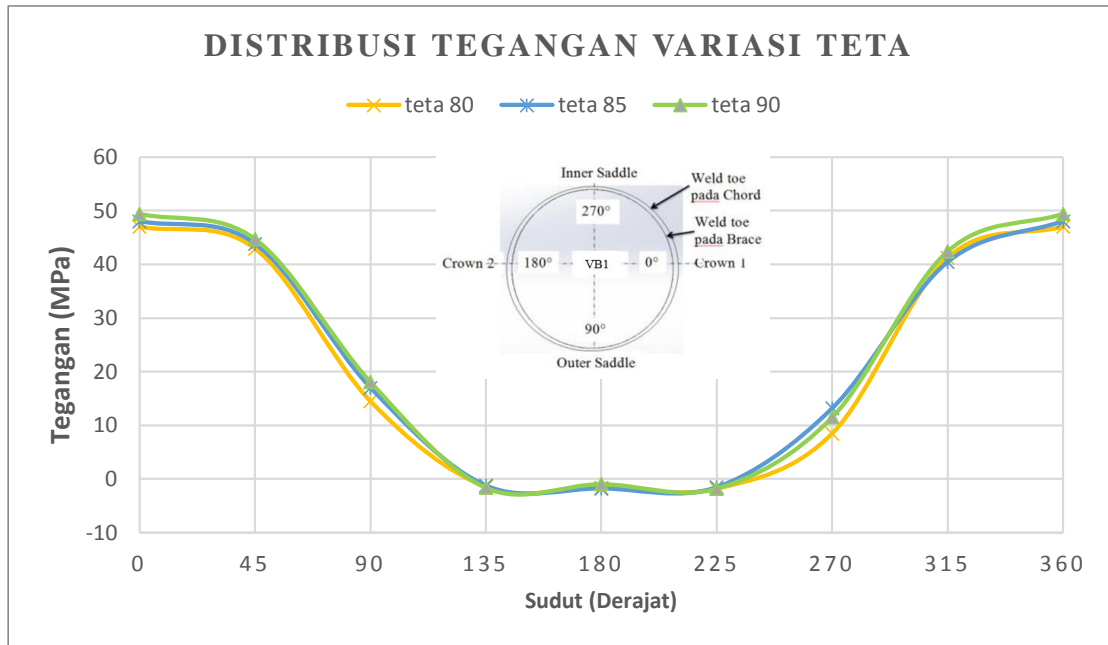


Gambar 4.20 Pengaruh dari parameter γ terhadap distribusi tegangan

4.8.4 Pengaruh Variasi Parameter Teta Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter θ merupakan sudut antara chord dengan brace. Pada tugas akhir ini besarnya parameter θ divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter θ dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu $\theta = 80^\circ$; $\theta = 85^\circ$ dan $\theta = 90^\circ$. Semua parameter selain parameter θ , yaitu parameter β , γ , dan τ besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Gambar 4.21 menunjukkan tegangan pada suatu titik di daerah sambungan akan meningkat seiring bertambahnya nilai parameter θ . Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada sudut 0° .

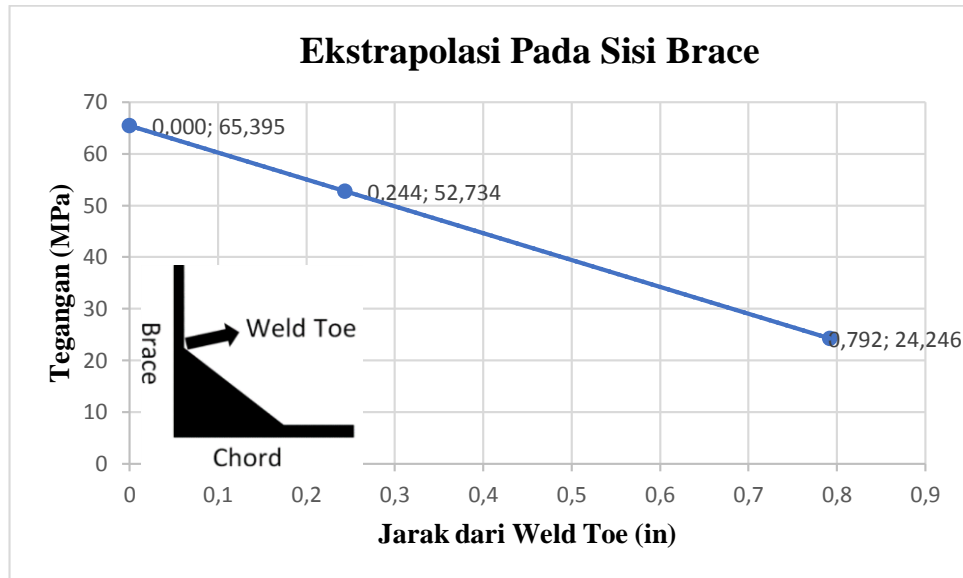


Gambar 4.21 Pengaruh dari parameter θ terhadap distribusi tegangan

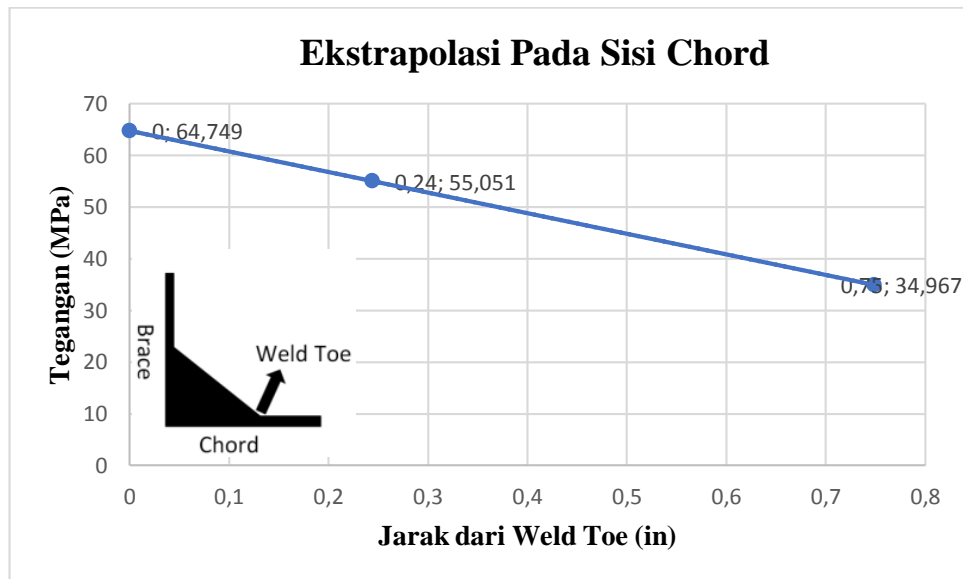
4.9 Tegangan *Hot-Spot* pada Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*

Sama halnya dengan model sambungan *tubular uniplanar KT*, untuk menghitung Tegangan *Hot-Spot* pada model sambungan *tubular multiplanar KDT* juga menggunakan metode ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203. Untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier akan diuraikan pada lampiran.

Beban yang diberikan berupa *in-plane bending moment* pada ketiga *brace* dengan nilai yang sudah diasumsikan sebelumnya, dan pada bagian ujung *chord* diberikan *fixed support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *maximum principal stress*. Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada *brace* dan *chord*.



Gambar 4.22 Ekstrapolasi linier pada *brace* Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*



Gambar 4.23 Ekstrapolasi linier pada *chord* Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*

Pada grafik di atas yang berwarna biru yang berada di titik 0 merupakan tegangan *hotspot* pada *brace* maupun *chord*. Dari Gambar 4.22, maka dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *brace* adalah 65,395 MPa dan dari Gambar 4.23 dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *chord* adalah 64,749 MPa. Untuk 24 model yang lainnya juga dilakukan metode yang sama.

4.10 Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*

Setelah tegangan *hotspot* didapatkan dari ekstrapolasi linier dan tegangan nominal didapatkan dari persamaan 4.1, kemudian faktor konsentrasi tegangan didapatkan dari rasio antara tegangan *hotspot* dengan tegangan nominalnya. Berikut adalah hasil tegangan *hotspot* (*HSS*), tegangan nominal, dan faktor konsentrasi tegangan pada setiap model.

Tabel 4.5 Faktor konsentrasi tegangan pada *brace*

Model No.	Tegangan Nominal (MPa)	HSS (MPa)	SCF
1	25,676	65,395	2,547
2	20,264	47,049	2,322
3	16,398	38,427	2,343
4	14,320	29,433	2,055
5	21,475	49,609	2,310
6	19,400	43,907	2,263
7	17,659	42,012	2,379
8	14,320	31,113	2,173
9	14,320	30,320	2,117
10	14,320	31,867	2,225
11	14,320	33,729	2,355
12	14,320	32,590	2,276
13	14,320	33,858	2,364
14	67,486	154,764	2,293
15	61,385	139,008	2,265
16	55,989	126,151	2,253
17	47,060	106,356	2,260
18	43,976	104,539	2,377
19	41,876	95,935	2,291
20	37,101	90,898	2,450
21	34,939	84,241	2,411
22	33,705	77,651	2,304
23	30,238	75,495	2,497
24	29,430	73,613	2,501
25	27,324	69,048	2,527

Tabel 4.6 Faktor konsentrasi tegangan pada *chord*

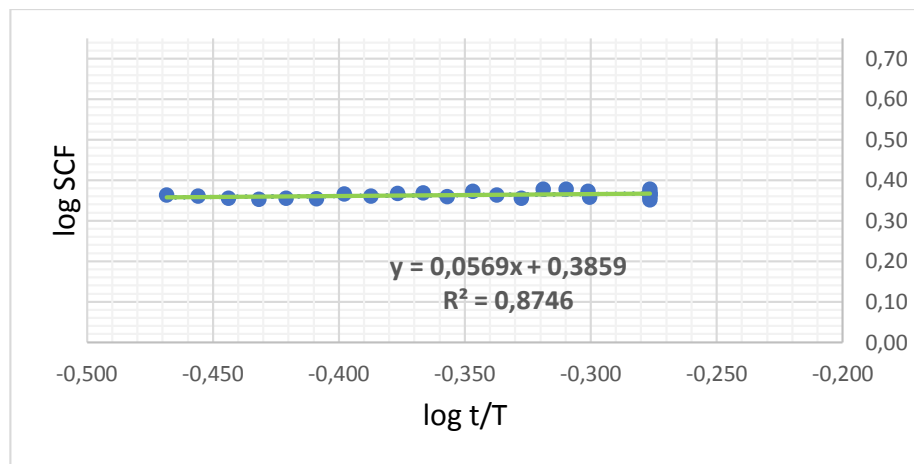
Model No.	Tegangan Nominal (MPa)	HSS (MPa)	SCF
1	25,676	64,749	2,522
2	20,264	45,876	2,264
3	16,398	36,142	2,204
4	14,320	33,258	2,323
5	21,475	32,115	1,495
6	19,400	37,305	1,923
7	17,659	31,669	1,793
8	14,320	24,719	1,726
9	14,320	24,863	1,736
10	14,320	30,008	2,096
11	14,320	32,398	2,262
12	14,320	32,018	2,236
13	14,320	31,758	2,218
14	67,486	113,666	1,684
15	61,385	105,355	1,716
16	55,989	100,282	1,791
17	47,060	84,344	1,792
18	43,976	78,489	1,785
19	41,876	75,720	1,808
20	37,101	72,641	1,958
21	34,939	72,564	2,077
22	33,705	70,125	2,081
23	30,238	69,522	2,299
24	29,430	67,430	2,291
25	27,324	66,425	2,431

4.11 Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan *Tubular*

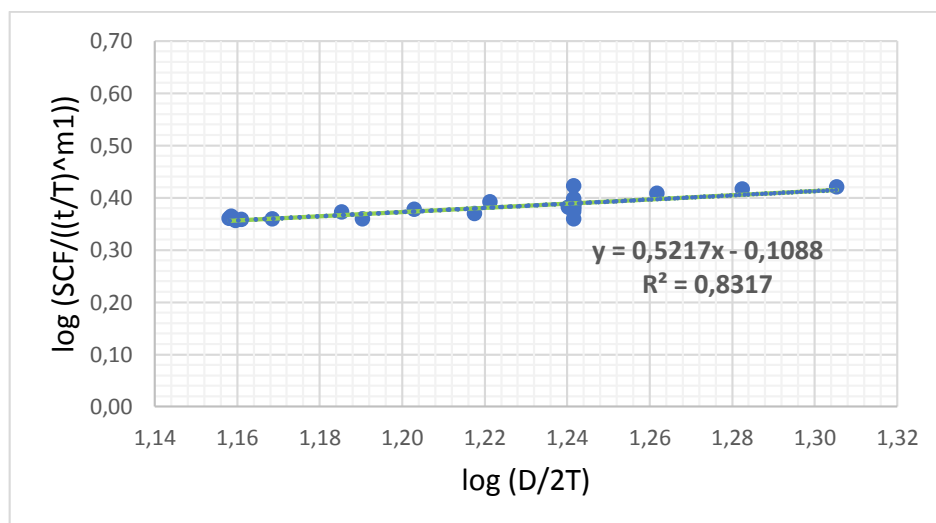
Multiplanar KDT

Perumusan faktor konsentrasi tegangan sambungan *tubular multiplanar KDT* pada tugas akhir ini dilakukan dengan metode regresi dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Dari setiap langkah dalam metode regresi yang digunakan didapatkan kemiringan atau gradien dari *trendline* yang menjelaskan persebaran dari setiap variable. Setelah mendapatkan nilai yang diinginkan dari setiap langkah regresi, kemudian nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan 3.2 yang nantinya akan menjadi persamaan *SCF* baru. Berikut adalah hasil perumusan faktor konsentrasi tegangan pada sisi *brace*.

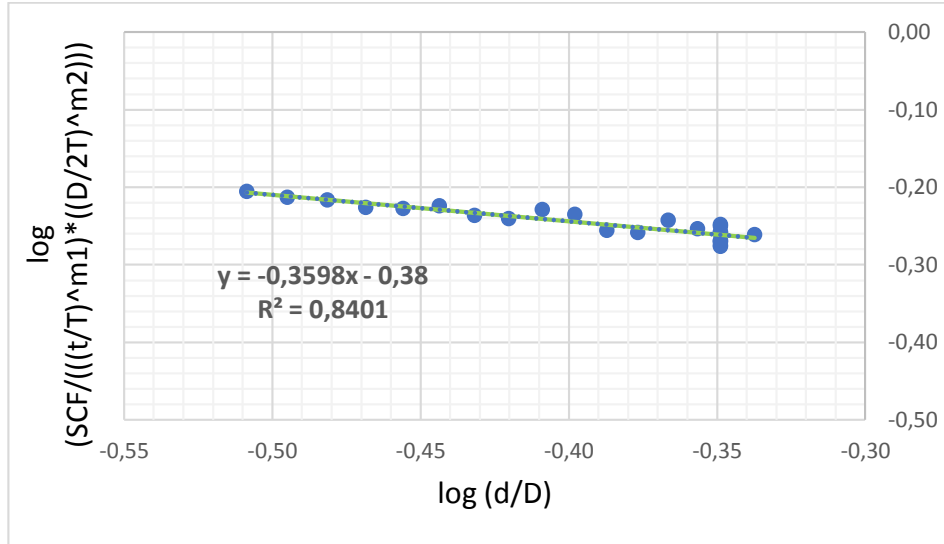
1. Langkah a ditunjukkan Gambar 4.24 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m1 = 0,0569$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar 4.25 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m2 = 0,5217$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar 4.26 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m3 = -0,3598$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar 4.27 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m4 = -0,6712$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.29), yaitu $c = 0,3859$.



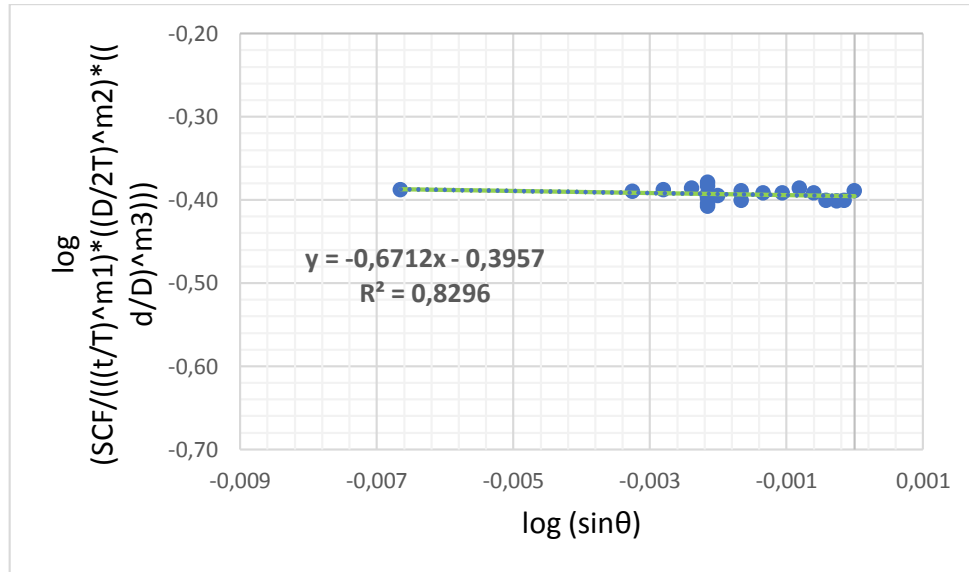
Gambar 4.24 Plot langkah a



Gambar 4.25 Plot langkah b



Gambar 4.26 Plot langkah c



Gambar 4.27 Plot langkah d

Sehingga persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar KDT* pada sisi *brace* akibat beban *in-plane-bending moment* adalah

$$0,3859 \cdot \beta^{-0,3598} \cdot \gamma^{0,5217} \cdot \tau^{0,0569} \cdot \sin(\theta)^{-0,6712} \quad (4.2)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar KDT* pada sisi *chord* akibat beban *in-plane-bending moment*, yaitu

$$0,7607 \cdot \beta^{-0,2619} \cdot \gamma^{0,4611} \cdot \tau^{0,714} \cdot \sin(\theta)^{-0,3368} \quad (4.3)$$

Kedua persamaan di atas memiliki batasan nilai parameter non-dimensional dikarenakan penulis hanya melakukan analisa untuk 25 model.

Batasan parameter non-dimensional tersebut yaitu :

$$\beta : 0,31 - 0,46$$

$$\gamma : 14-20$$

$$\tau : 0,35 - 0,53$$

4.12 Perbandingan SCF Hasil dari Persamaan SCF Baru dengan SCF

Hasil dari Analisis Metode Elemen Hingga

Setelah mendapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar K double T*, maka akan dilakukan pengecekan terhadap persamaan SCF untuk mengetahui akurasi dan tingkat kesalahannya. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan hasil dari perhitungan persamaan SCF dengan hasil dari analisis metode elemen hingga menggunakan persamaan 3.3. Hasil perbandingan faktor konsentrasi tegangan dari persamaan baru dengan faktor konsentrasi tegangan dari hasil analisis metode elemen hingga pada sisi *brace* dan *chord* dapat dilihat pada tabel 4.7 dan table 4.8.

Tabel 4.7 Perbandingan *SCF* persamaan baru dengan *SCF FEM* pada sisi *brace*

NO. MODEL	SCF FEM	SCF PERSAMAAN	Error (%)
1	2,5469	2,4462	3,9520
2	2,3217	2,4184	4,1649
3	2,3434	2,3329	0,4479
4	2,0554	2,2795	10,9034
5	2,3101	2,2229	3,7726
6	2,2632	2,2368	1,1688
7	2,3791	2,2498	5,4351
8	2,1727	2,0439	5,9291
9	2,1174	2,1268	0,4466
10	2,2254	2,2067	0,8384
11	2,3554	2,2954	2,5468
12	2,2759	2,2778	0,0832
13	2,3644	2,2719	3,9105
14	2,2933	2,2876	0,2482
15	2,2645	2,2671	0,1150
16	2,2532	2,2477	0,2421
17	2,2600	2,2093	2,2425
18	2,3772	2,2147	6,8335

Tabel 4.7 Perbandingan *SCF* persamaan baru dengan *SCF FEM* pada sisi *brace*
(lanjutan)

NO. MODEL	SCF FEM	SCF PERSAMAAN	Error (%)
19	2,2909	2,2430	2,0930
20	2,4500	2,2558	7,9250
21	2,4111	2,2930	4,8991
22	2,3039	2,3304	1,1532
23	2,4967	2,3589	5,5159
24	2,5013	2,4040	3,8863
25	2,5270	2,4374	3,5458
Error Rata-Rata (%)			3,2920

Tabel 4.8 Perbandingan *SCF formula* dengan *SCF FEM* pada sisi *chord*

NO. MODEL	SCF FEM	SCF PERSAMAAN	Error (%)
1	2,5217	2,3973	4,931951
2	2,2639	2,3285	2,854604
3	2,2041	2,2683	2,913658
4	2,1225	2,2304	5,079904
5	1,4955	1,6269	8,789967
6	1,9229	1,7589	8,532382
7	1,7933	1,8916	5,47926
8	1,7262	1,7939	3,918994
9	1,7363	1,9421	11,85383
10	2,0955	2,0904	0,24371
11	2,2625	2,2382	1,075388
12	2,2359	2,2295	0,286949
13	2,2178	2,2266	0,3986
14	1,6843	1,6708	0,801875
15	1,7163	1,6917	1,431658
16	1,7911	1,7125	4,388892
17	1,7923	1,7522	2,23659
18	1,7848	1,7880	0,178608
19	1,8082	1,8399	1,755801
20	1,9579	1,9133	2,279632
21	2,0769	2,0023	3,591069
22	2,0806	2,0627	0,861698
23	2,2991	2,1490	6,529595
24	2,2912	2,2168	3,24729
25	2,4310	2,2782	6,284186
Error Rata-Rata (%)			3,5978

Pada Tabel 4.7 dan 4.8, terlihat bahwa hasil SCF menggunakan persamaan SCF baru memiliki nilai yang relatif cukup dekat terhadap analisis dengan menggunakan metode elemen hingga. Hal ini ditunjukkan dengan *error* maksimum dari semua model adalah 12%, sedangkan *error* rata-rata untuk semua kasus masih berada dibawah 5%. Selain itu, nilai *error* juga dapat menunjukkan keakuratan dari metode regresi yang digunakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi parameter yang telah dilakukan mengenai pembahasan ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter β , τ , γ dan θ memiliki pengaruh terhadap distribusi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord*. Hasil dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa tegangan di daerah sambungan akan turun seiring meningkatnya nilai parameter β , sebaliknya jika nilai parameter τ , γ , dan θ meningkat maka tegangan disekitar sambungan juga akan meningkat.
2. Besar faktor konsentrasi tegangan terbesar yang terjadi pada daerah *brace* yaitu sebesar 2,547 dengan parameter non-dimensional $\beta = 0,34$; $\tau = 0,53$; $\gamma = 17,44$; dan $\theta = 84,30^\circ$. Sedangkan faktor konsentrasi tegangan terbesar yang terjadi pada daerah *chord* adalah 2,522 dengan parameter non-dimensional yang sama.
3. Persamaan faktor konsentrasi tegangan pada daerah *brace* dan *chord* untuk sambungan *tubular multiplanar KDT* adalah sebagai berikut.

$$SCF_{brace} = 0,3859 \cdot \beta^{-0,3598} \cdot \gamma^{0,5217} \cdot \tau^{0,0569} \cdot \sin(\theta)^{-0,6712}$$

$$SCF_{chord} = 0,7607 \cdot \beta^{-0,2619} \cdot \gamma^{0,4611} \cdot \tau^{0,714} \cdot \sin(\theta)^{-0,3668}$$

5.2 Saran

Penulis menyarankan beberapa hal yang bisa dilakukan untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya antara lain :

1. Melakukan perumusan SCF sambungan *tubular multiplanar* dengan bentuk geometri yang lain.
2. Memvariasikan tumpuan pada kedua ujung *chord* dan arah pembebanan pada *brace*-nya.
3. Melakukan metode eksperimen untuk menentukan *SCF* pada tipe sambungan tertentu.
4. Melakukan peninjauan pada semua *brace*, tidak hanya pada *brace* yang memiliki tegangan terbesar.

5. Dapat dilanjutkan untuk menghitung keretakan, *stress intensity factor* (SIF), dan penambahan variasi *crack* pada studi parameter *multiplanar tubular joint K double T* ini.
6. Dapat dilanjutkan untuk menghitung *fatigue life* pada *multiplanar tubular joint K double T*.
7. Melakukan pembentukan rumus SCF menggunakan metode regresi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

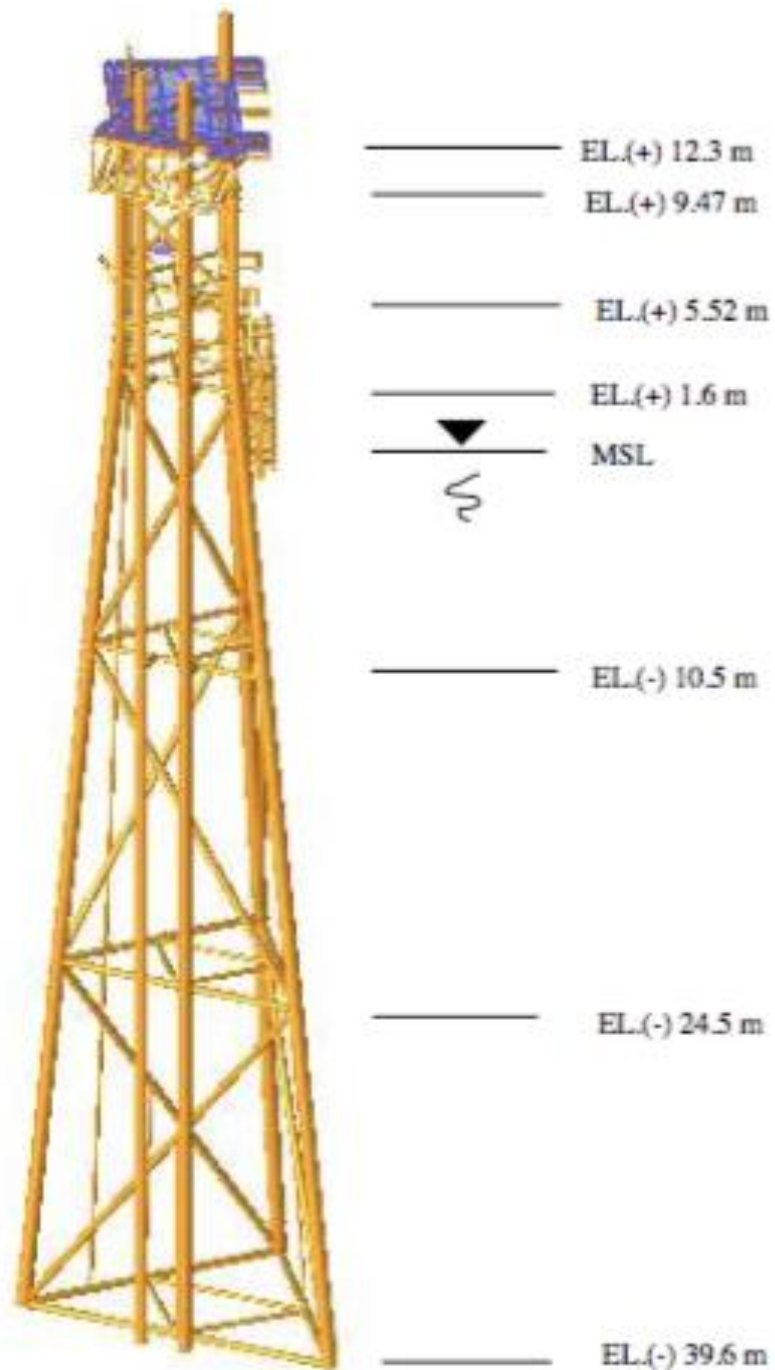
- Ahmadi, Hamid, Ali Ziyaei Nejad. 2016. *Stress Concentration Factors in Uniplanar Tubular KT-Joints of Jacket Structures Subjected to In-Plane Bending Loads*. International Journal of Maritime Technology Vol.5, 27-39
- Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2016. *The effect of multi-planarity on the SCFs in offshore tubular KT-joints subjected to in-plane and out-of-plane bending load*. Thin Walled Structures 106, 148-165.
- Ahmadi, Hamid, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin, Mohammad H. Aminfar. 2011. *Geometrical effect on SCF distribution in uni-planar tubular DKT joints under axial loads*. Journal of Construction Steel Research 67, 1282-1291
- AWS D1. 1. 2008. *Welded Joint Details for Structural Applications*
- Chiew, S.P., Soh, C.K. and Wu, N.W., (2000), *General SCF design equations for steel multiplanar tubular XX-joints*, International Journal of Fatigue, Vol. 22, p. 283-293.
- DNVGL RP-C203. 2001. Recommended Practice. *Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structure*.
- El-Reedy, Mohammed. *Marine Structural Design Calculations*. 2014. Butterworth-Heinemann
- Haghpanahi, M., H.Piradi. 2006. *Hot Spot Stress Determination for a Tubular Tjoint under Combined Loading Axial and Bending Loading*. IUST International Journal of Engineering Science, vol. 17, No 3-4, Page 21-28.
- Karamanos, Spyros A., Arie Romeijn, Jaap Wardenier. 2001. *SCF equations in multi-planar welded tubular DT-joints including bending effects*. Marine Structures, Vol 15, 157-173
- Lotfollahi-Yaghin, Mohammad A., Hamid Ahmadi. 2011. *Geometric stress distribution along the weld toe of the outer brace in two-planar tubular DKT-joints: Parametric study and deriving the SCF design equation*. Marine Structures, Vol.24, 239-260.

- McClelland, Bramlette, Michael D. Reifel. 1986. *Planning and design of fixed offshore platforms*. Universitas Michigan. Van Nostrand Reinhold.
- Murthy, D. S., et al. 2004. *An Efficient FE Modelling Strategy for Fracture Analysis of Tubular Joints*. Journal Structural Engineering Research Centre, Vol 85, May.
- Pang, H.L.J., C.W. Lee. 1995. *Three-dimentional Finite Element Analysis of a Tubular T-joint under Combined Axial and Bending Loading*. International jurnal of fatigue, vol. 17, no 5, pp313-320.
- Soh, Ai-Kah, Chee-Kiong Soh. 1991. *SCF equations for DT/X tubular joints*. J. Construct. Steel Research 19, 81-95.
- Underwater Engineering Group. 1985 *Theory of plate and shel*” Mcgraw hill book company
- Wingerde, A.M., Packer, J.A. and Wardenier, J., (2001), *Simplified SCF formulae and graphs for CHS and RHS K- and KK-connections*. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, 221-252.

LAMPIRAN

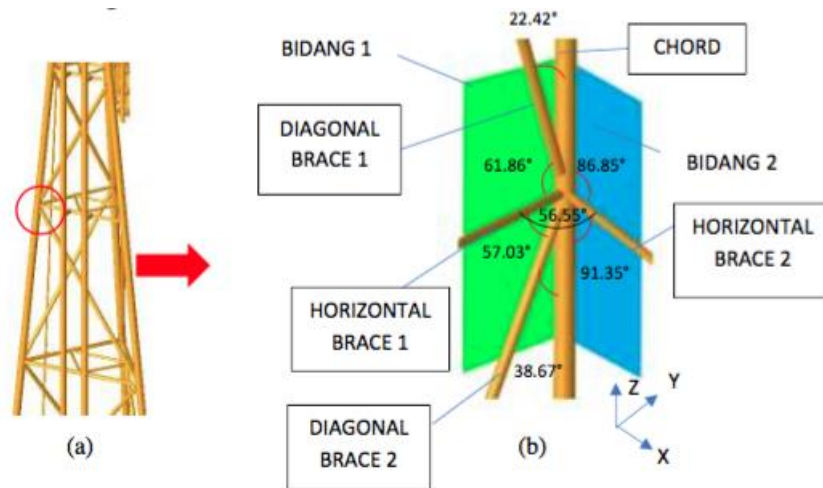
LAMPIRAN A
DATA DAN MODEL SAMBUNGAN
TUBULAR MULTIPLANAR KDT

A.1 Pemodelan *Global Platform Isometric View*

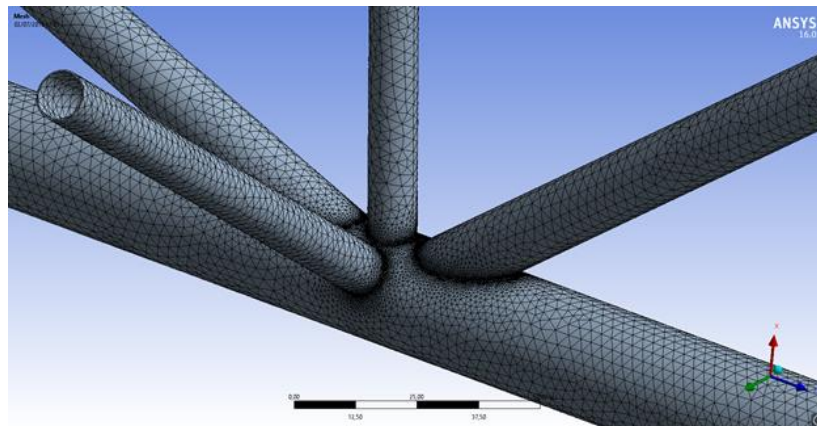


Gambar A.1 Pemodelan *global platform isometric view*

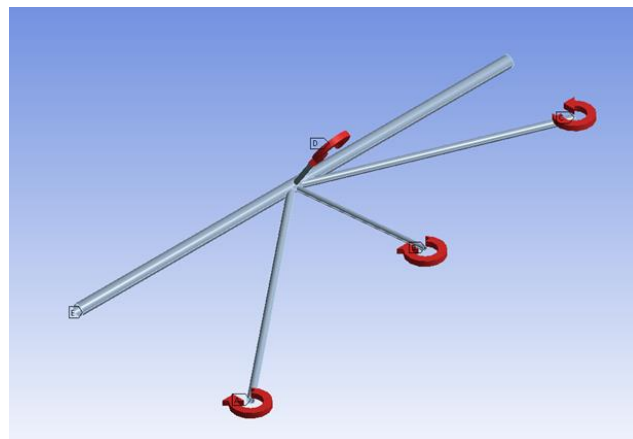
A.2 Model Lokal Sambungan *Tubular Multiplanar K Double T*



Gambar A.2.1 Model lokal sambungan *tubular multiplanar K double T*



Gambar A.2.2 Model *meshing* sambungan *tubular multiplanar K double T*



Gambar A.2.3 Kondisi batas dan pembebanan pada sambungan *tubular multiplanar K double T*

A.3 Geometri dan *Material Properties* Sambungan *Tubular Multiplanar K Double T*

Tabel A.3.1 Geometri sambungan *tubular multiplanar K double T*

	<i>Thickness / t</i> (in)	<i>Outside Diameter / OD</i> (in)	<i>Inside Diameter / ID</i> (in)	<i>Length / L</i> (in)
<i>Chord</i>	0.688	24	22.62	1032.68
<i>Diagonal Brace 1</i>	0.5	14	13	487.19
<i>Diagonal Brace 2</i>	0.5	14	13	611.55
<i>Horizontal Brace 1</i>	0.364	10.75	16.5	278.22
<i>Horizontal Brace 2</i>	0.364	10.75	16.5	149.80

Tabel A.3.2 *Material Properties* sambungan *tubular multiplanar K double T*

	<i>Spec dan Grade</i>	<i>Yield Strength / σ_y</i> (ksi)	<i>Modulus Young / E</i> (ksi)	<i>Shear Modulus / G</i> (ksi)	<i>Poisson's Ratio / ν</i>
<i>Chord</i>	API 5L <i>Grade 290</i>	290	29007.5449	11603.0175	0.3
<i>Brace</i>	API 5L <i>Grade B</i>	241	29007.5449	11603.0175	0.3

LAMPIRAN B
MESHING SENSITIVITY

Tabel B.1 *Meshing sensitivity* pada model 1 sambungan *tubular multiplanar* KDT.

Jumlah Elemen	Tegangan (psi)	Error (%)
155665	1053,5	
157716	1035,2	1,74
161882	1008,1	2,62
168455	1044,2	3,58
174549	1015,8	2,72
184241	1045,4	2,91
197464	1000,9	4,26
213967	1000,2	0,07
238492	987,51	1,27
282185	983,82	0,37
357759	985,73	0,19

Tabel B.2 *Meshing sensitivity* pada model 2 sambungan *tubular multiplanar* KDT.

Jumlah Elemen	Tegangan (psi)	Error (%)
157126	1009,1	
159576	1014,2	0,51
163413	968,26	4,53
169792	982,56	1,48
176950	1008,8	2,67
186348	989,26	1,94
199267	964,83	2,47
215864	954,87	1,03
241919	949,41	0,57
285153	945,81	0,38
362348	947,9	0,22

Tabel B.3 *Meshing sensitivity* pada model 3 sambungan *tubular multiplanar* KDT.

Jumlah Elemen	Tegangan (psi)	Error (%)
156871	999,11	
160594	1028	2,89
163521	968,76	5,76
170420	1031,5	6,48
177830	972,85	5,69
187103	975,63	0,29
200102	964,51	1,14
216247	955,83	0,90
243211	945,27	1,10
287045	938,38	0,73
364040	941,45	0,33

LAMPIRAN C
TEGANGAN NOMINAL

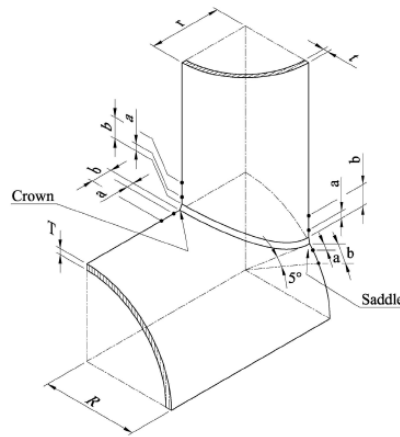
Tabel C.1 Perhitungan Tegangan Nominal pada member VB 1 sambungan *tubular multiplanar* KDT

No. Model	GEOMETRI MEMBER HB1								Beban Momen (N.m)	Tegangan Nominal (Pa)	Tegangan Nominal (MPa)
	d (in)	d (m)	D (in)	D (m)	t (in)	t (m)	T (in)	T (m)			
1	8,160	0,207	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	25676425	25,676
2	9,120	0,232	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	20264379	20,264
3	10,080	0,256	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	16398137	16,398
4	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	14319769	14,320
5	10,750	0,273	24	0,610	0,234	0,006	0,688	0,017	7000	21474986	21,475
6	10,750	0,273	24	0,610	0,261	0,007	0,688	0,017	7000	19400096	19,400
7	10,750	0,273	24	0,610	0,289	0,007	0,688	0,017	7000	17659024	17,659
8	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,828	0,021	7000	14319769	14,320
9	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,774	0,020	7000	14319769	14,320
10	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,727	0,018	7000	14319769	14,320
11	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	14319769	14,320
12	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	14319769	14,320
13	10,750	0,273	24	0,610	0,364	0,009	0,688	0,017	7000	14319769	14,320
14	6,138	0,156	19,800	0,503	0,241	0,006	0,688	0,017	7000	67486411	67,486
15	6,344	0,161	19,825	0,504	0,248	0,006	0,688	0,017	7000	61384640	61,385

No. Model	GEOMETRI MEMBER HB1								Beban	Tegangan	Tegangan
	d (in)	d (m)	D (in)	D (m)	t (in)	t (m)	T (in)	T (m)	Momen (N.m)	Nominal (Pa)	Nominal (MPa)
16	6,551	0,166	19,850	0,504	0,255	0,006	0,688	0,017	7000	55988671	55,989
17	6,956	0,177	19,875	0,505	0,268	0,007	0,688	0,017	7000	47060388	47,060
18	7,164	0,182	19,900	0,505	0,270	0,007	0,675	0,017	7000	43976367	43,976
19	7,372	0,187	19,925	0,506	0,267	0,007	0,65	0,017	7000	41876427	41,876
20	7,781	0,198	19,950	0,507	0,269	0,007	0,625	0,016	7000	37101128	37,101
21	7,990	0,203	19,975	0,507	0,270	0,007	0,6	0,015	7000	34938739	34,939
22	8,200	0,208	20,000	0,508	0,265	0,007	0,575	0,015	7000	33704670	33,705
23	8,643	0,220	20,100	0,511	0,264	0,007	0,55	0,014	7000	30238491	30,238
24	8,855	0,225	20,125	0,511	0,257	0,007	0,525	0,013	7000	29430465	29,430
25	9,292	0,236	20,200	0,513	0,250	0,006	0,5	0,013	7000	27324412	27,324

LAMPIRAN D
TEGANGAN *HOT-SPOT*

D.1 Menentukan Titik Ekstrapolasi Berdasarkan DNVGL-RP-C203



Gambar D.1 Titik Ekstrapolasi linier pada *tubular joint* untuk mencari *hot-spot stress* (DNVGL-RP-C203, 2016)

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,4 \sqrt{r t}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,4 \sqrt{r t R T}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 2 \pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36}$$

Dengan:

r = jari-jari *brace*

t = ketebalan *brace*

R = jari-jari *chord*

T = ketebalan *chord*

Tabel D.1 Jarak dua titik ekstrapolasi pada sambungan *tubular multiplanar* KDT

No. Model	GEOMETRI MEMBER HB1						BRACE		CHORD CROWN	
	d (in)	r (in)	D (in)	R (in)	t (in)	T (in)	a (in)	b (in)	a (in)	b (in)
1	8,160	4,080	24	12	0,364	0,688	0,24	0,79	0,24	0,75
2	9,120	4,560	24	12	0,364	0,688	0,26	0,84	0,26	0,77
3	10,080	5,040	24	12	0,364	0,688	0,27	0,88	0,27	0,79
4	10,750	5,375	24	12	0,364	0,688	0,28	0,91	0,28	0,80
5	10,750	5,375	24	12	0,234	0,688	0,22	0,73	0,22	0,72
6	10,750	5,375	24	12	0,261	0,688	0,24	0,77	0,24	0,74
7	10,750	5,375	24	12	0,289	0,688	0,25	0,81	0,25	0,76
8	10,750	5,375	24	12	0,364	0,828	0,28	0,91	0,28	0,84
9	10,750	5,375	24	12	0,364	0,774	0,28	0,91	0,28	0,83
10	10,750	5,375	24	12	0,364	0,727	0,28	0,91	0,28	0,81
11	10,750	5,375	24	12	0,364	0,688	0,28	0,91	0,28	0,80
12	10,750	5,375	24	12	0,364	0,688	0,28	0,91	0,28	0,80
13	10,750	5,375	24	12	0,364	0,688	0,28	0,91	0,28	0,80
14	6,138	3,069	19,800	9,9	0,241	0,688	0,17	0,56	0,17	0,60
15	6,344	3,172	19,825	9,9125	0,248	0,688	0,18	0,58	0,18	0,61
16	6,551	3,275	19,850	9,925	0,255	0,688	0,18	0,59	0,18	0,62
17	6,956	3,478	19,875	9,9375	0,268	0,688	0,19	0,63	0,19	0,64
18	7,164	3,582	19,900	9,95	0,270	0,675	0,20	0,64	0,20	0,64
19	7,372	3,686	19,925	9,9625	0,267	0,65	0,20	0,64	0,20	0,64
20	7,781	3,890	19,950	9,975	0,269	0,625	0,20	0,66	0,20	0,64
21	7,990	3,995	19,975	9,9875	0,270	0,6	0,21	0,68	0,21	0,64
22	8,200	4,100	20,000	10	0,265	0,575	0,21	0,68	0,21	0,63
23	8,643	4,322	20,100	10,05	0,264	0,55	0,21	0,69	0,21	0,63
24	8,855	4,428	20,125	10,0625	0,257	0,525	0,21	0,69	0,21	0,63
25	9,292	4,646	20,200	10,1	0,250	0,5	0,22	0,70	0,22	0,62

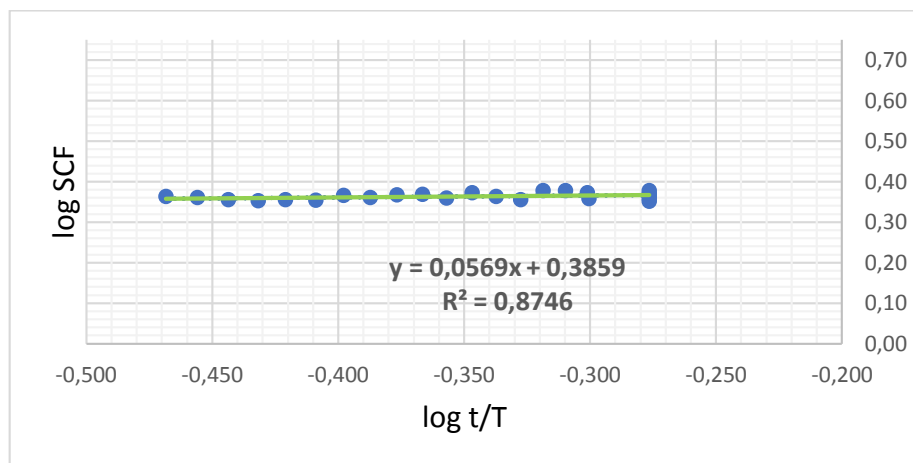
Tabel D.2 Tegangan *Hotspot* Hasil Ekstrapolasi Linier

No. Model	BRACE SIDE			CHORD SIDE		
	$\sigma.a$ (Mpa)	$\sigma.b$ (Mpa)	HSS (Mpa)	$\sigma.a$ (Mpa)	$\sigma.b$ (Mpa)	HSS (Mpa)
1	52,734	24,246	65,395	55,051	34,967	64,749
2	38,215	18,339	47,049	39,604	27,142	45,876
3	31,155	14,792	38,427	31,029	21,247	36,142
4	24,196	12,413	29,433	27,291	16,153	33,258
5	40,586	20,285	49,609	27,937	18,739	32,115
6	36,057	18,395	43,907	31,623	19,605	37,305
7	33,979	15,904	42,012	27,705	19,632	31,669
8	25,458	12,734	31,113	21,356	14,622	24,719
9	24,987	12,987	30,320	21,479	14,873	24,863
10	25,978	12,728	31,867	25,734	17,587	30,008
11	27,742	14,272	33,729	27,15	17,354	32,398
12	26,441	12,606	32,590	27,532	19,159	32,018
13	27,127	11,983	33,858	27,736	20,228	31,758
14	126,05	61,444	154,764	99,869	65,588	113,666
15	113,46	55,978	139,008	92,241	60,336	105,355
16	103,75	53,348	126,151	87,492	57,009	100,282
17	87,517	45,129	106,356	73,686	49,275	84,344
18	85,414	42,382	104,539	68,592	46,356	78,489
19	78,346	38,771	95,935	66,557	46,356	75,720
20	73,506	34,375	90,898	63,339	43,569	72,641
21	68,157	31,968	84,241	62,784	42,535	72,564
22	63,414	31,381	77,651	60,691	41,493	70,125
23	60,812	27,775	75,495	59,611	40,114	69,522
24	59,237	26,891	73,613	57,992	39,729	67,430
25	55,597	25,332	69,048	56,746	38,472	66,425

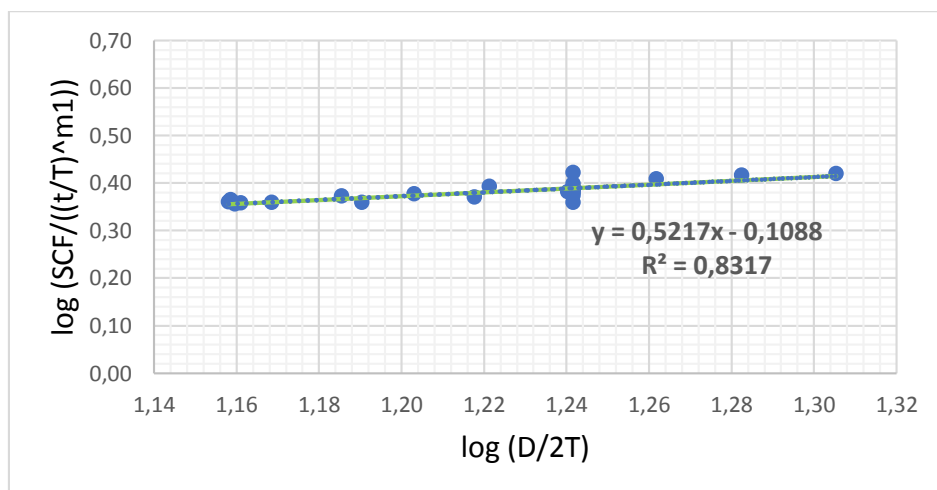
LAMPIRAN E
PERUMUSAN *SCF* MENGGUNAKAN
REGRESI LINIER

E.1 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multiplanar KDT* pada sisi *brace*

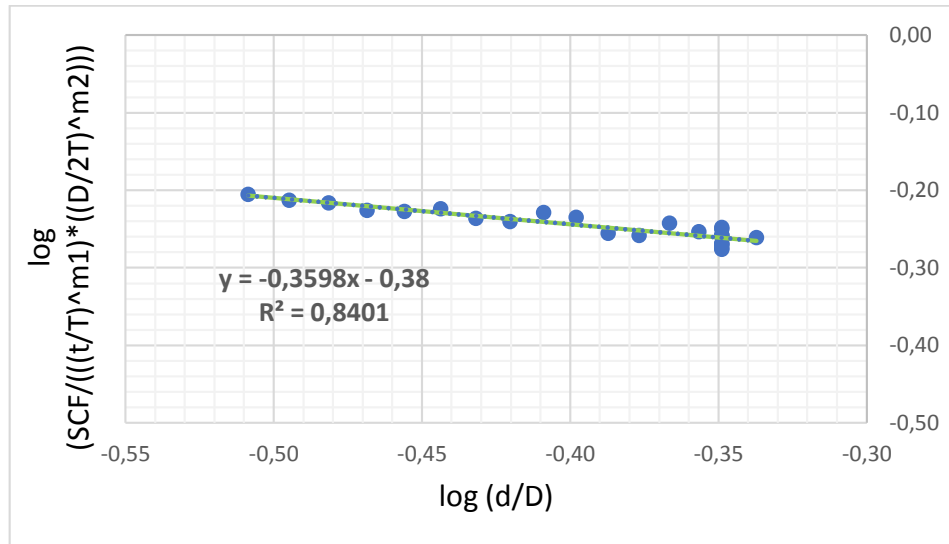
1. Langkah a ditunjukkan Gambar E.1 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m1 = 0,0569$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar E.2 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m2 = 0,5217$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar E.3 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m3 = -0,3598$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar E.4 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m4 = -0,6712$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar E.1), yaitu $c = 0,3859$.



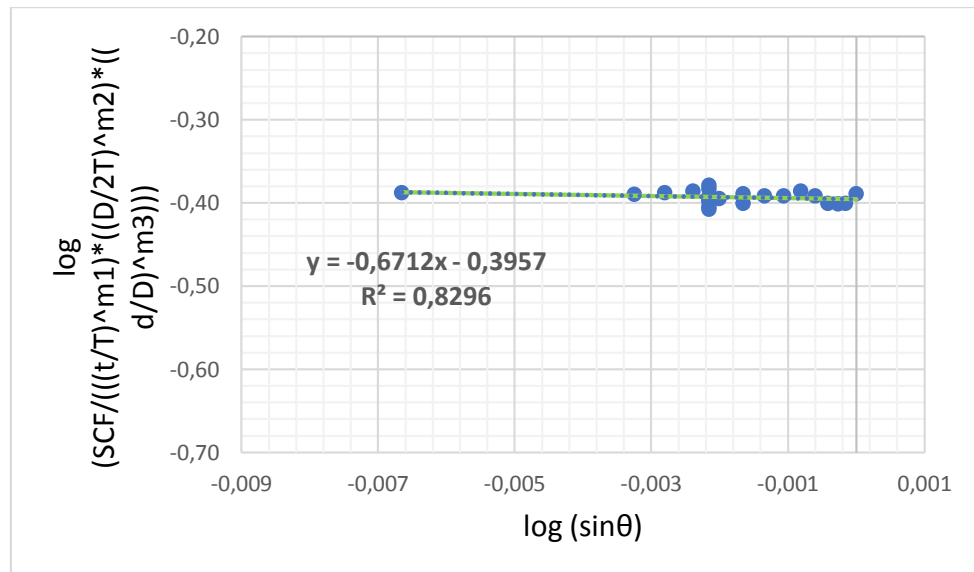
Gambar E.1 Plot langkah a



Gambar E.2 Plot langkah b



Gambar E.3 Plot langkah c



Gambar E.4 Plot langkah d

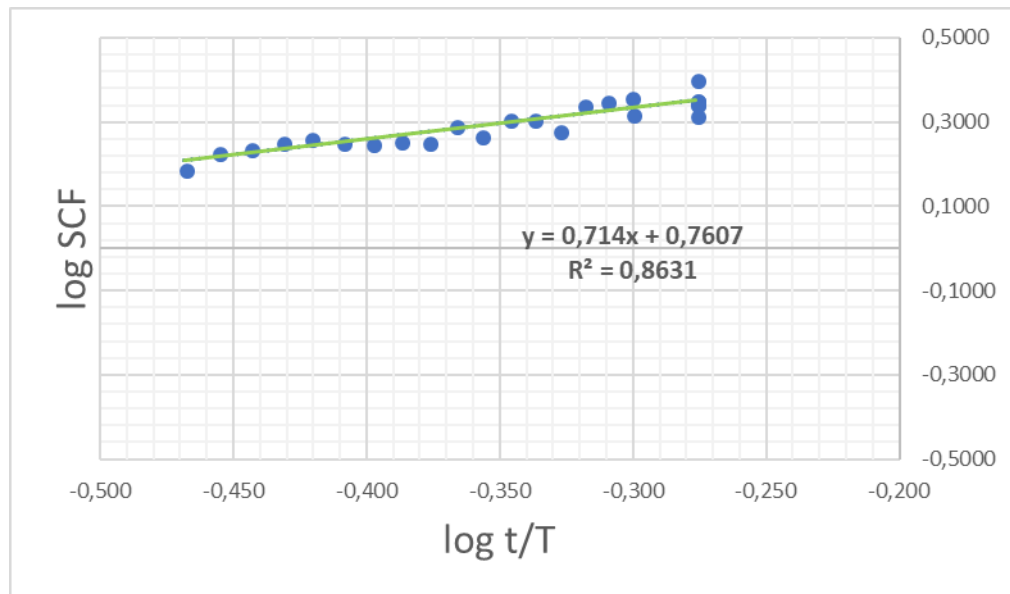
Sehingga persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar KDT* pada sisi *brace* akibat beban *in-plane-bending moment* adalah

$$0,3859 \cdot \beta^{-0,3598} \cdot \gamma^{0,5217} \cdot \tau^{0,0569} \cdot \sin(\theta)^{-0,6712}$$

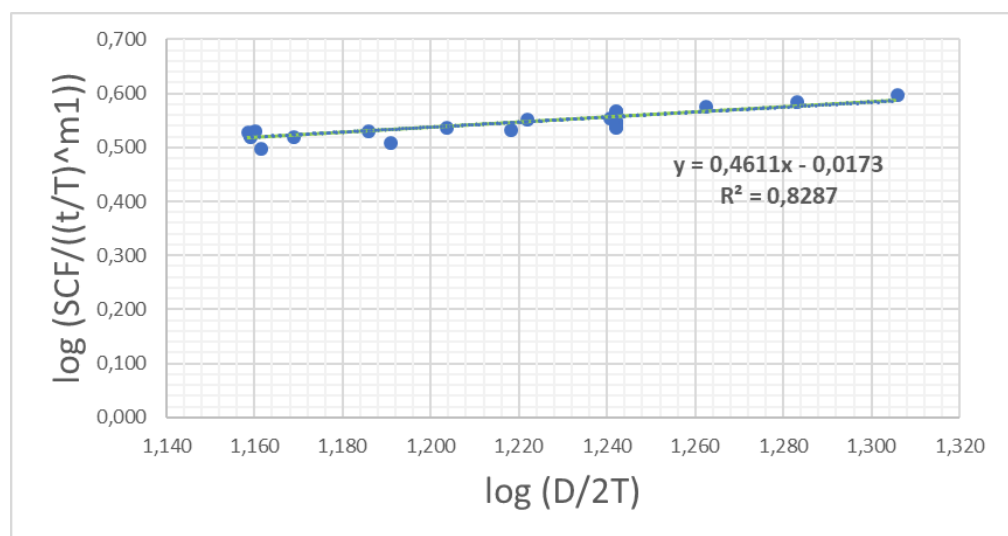
E.2 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multiplanar KDT* pada sisi *chord*

1. Langkah a ditunjukkan Gambar E.5 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m1 = 0,714$

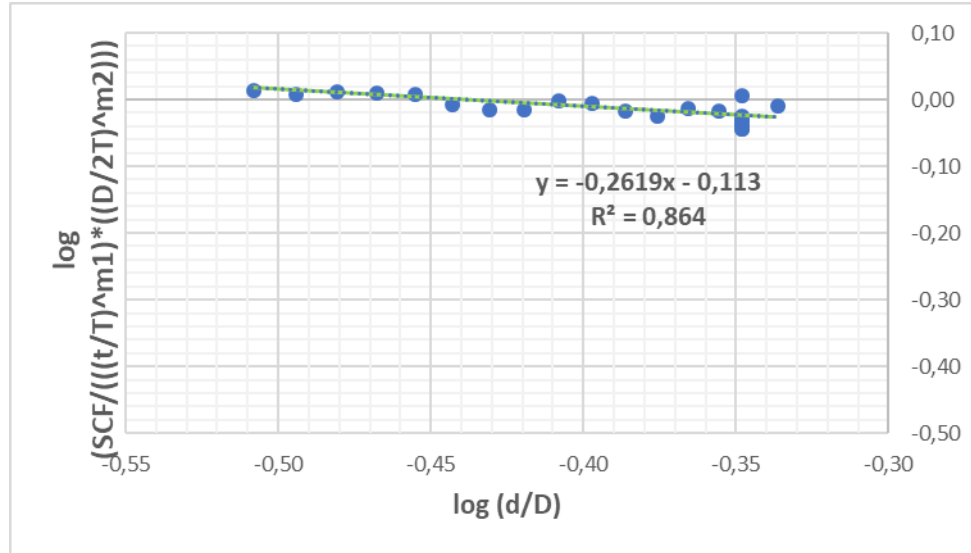
2. Langkah b ditunjukkan Gambar E.6 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m_2 = 0,4611$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar E.7 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m_3 = -0,2619$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar E.8 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan $m_4 = -0,3368$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar E.6), yaitu $c = 0,7607$.



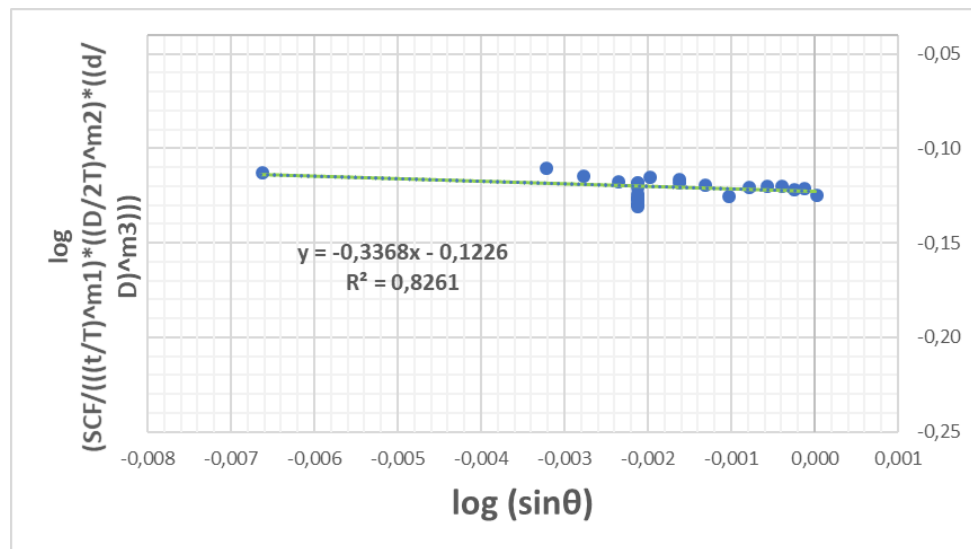
Gambar E.5 Plot langkah a



Gambar E.6 Plot langkah b



Gambar E.7 Plot langkah c



Gambar E.8 Plot langkah d

Sehingga persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar KDT* pada sisi *chord* akibat beban *in-plane-bending moment* adalah

$$0,7607 \cdot \beta^{-0,2619} \cdot \gamma^{0,611} \cdot \tau^{0,714} \cdot \sin(\theta)^{-0,3368}$$

BIODATA PENULIS



Rizky Yazhahir lahir di Solok pada tanggal 22 Maret 1998, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Jombang 2, SMP Negeri 1 Jombang, dan SMA Negeri 3 Jombang. Setelah lulus pada tahun 2014, penulis mengikuti program Seleksi Bersama Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Departemen Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP. 04311440000096. Selain kesibukan dalam kuliah penulis juga pernah mengikuti UKM Fotografi. Pada bulan Juni hingga Agustus 2017, penulis berkesempatan melakukan Kerja Praktek di PT Global Maritime Indonesia yang berlokasi di Bumi Serpong Damai (BSD) Kota Tangerang Selatan, Banten dimana penulis memperoleh banyak pengetahuan tentang dunia konsultan engineering, khususnya tentang struktur bangunan lepas pantai dan analisa elemen hingga. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang struktur bangunan lepas pantai, dengan kajian mengenai perumusan faktor konsentrasi tegangan sambungan *tubular multiplanar K double T* dengan metode elemen hingga.

Kontak Penulis

Email : rizkyyazhahir@gmail.com

No. HP : +62 822 5764 5198